

ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE LOS ELEMENTOS SOMBREADORES DE FACHADA EN LATITUDES INTERMEDIAS.

OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO TEÓRICO PARA UN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO.



TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

CURSO ACADÉMICO 2017/2018

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

EQUIPO DOCENTE TFG-Ñ

FELIPE PALOMINO GONZÁLEZ

JOSE MANUEL PÉREZ MUÑOZ

CARLOS RIVERA GÓMEZ

AUTOR **MANUEL ALEJANDRO PARRA GÓMEZ**

TUTOR **CARLOS RIVERA GÓMEZ**



**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE LOS ELEMENTOS
SOMBREADORES DE FACHADA EN LATITUDES INTERMEDIAS.**

**OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO TEÓRICO PARA UN
ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO.**

AUTOR ALEJANDRO PARRA GÓMEZ

TUTOR CARLOS RIVERA GÓMEZ



TRABAJO FIN DE GRADO. CURSO ACADÉMICO 2017/2018
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA. UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Quisiera agradecerse

A mi familia y amigos,
por apoyarme y guiarme en mis decisiones.

Al equipo docente,
por su gran labor y dedicación durante el curso.

Y en especial a Carlos Rivera,
por guiarme y motivarme a lo largo de este recorrido tan intenso,
con su siempre honesta complicidad y completa disposición.

ABSTRACT

Las temperaturas tan altas que se alcanzan en localizaciones de latitudes intermedias provocan una gran demanda de refrigeración presente en las edificaciones actuales. Para paliar esta demanda sin emitir Gases de Efecto Invernadero a la atmósfera estudiaremos uno de los sistemas pasivos de refrigeración que más puede repercutir en las cargas térmicas. Se trata de los sistemas de sombreado de fachadas.

Se realizará un análisis de los diferentes sistemas de protección solar en las condiciones más desfavorables térmicamente para estas latitudes, teniendo en cuenta diferentes orientaciones y las fechas y horas más desfavorables. Obtendremos unos parámetros para un sistema con un funcionamiento teórico óptimo en todas las variables que se presentan.

Para abarcar todas las facetas necesarias en la definición del perfil teórico de estos elementos de sombra, se realizará también un estudio de los posibles materiales a emplear en estos sistemas.

Según las previsiones de Cambio Climático, realizadas por el IPCC, las temperaturas en el sur de España sufrirán un aumento de la media de hasta 4,8°C en los próximos 30 años, apareciendo una demanda de refrigeración en determinados meses que actualmente no tienen. De este modo, comprobaremos la eficiencia de los sistemas actuales en el horizonte 2050. En los casos en los que será necesario, se modificarán los sistemas buscando su eficacia. Finalmente obtendremos los parámetros del prototipo teórico eficiente para todas las variables establecidas, en un futuro a medio plazo.

PALABRAS CLAVE

Cambio Climático, Calentamiento global, radiación solar, sostenibilidad, eficiencia energética, climatización pasiva, sombreadores de fachada, horizonte 2050.

ÍNDICE

ABSTRACT	3
PALABRAS CLAVE	3
1. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	7
2. OBJETIVOS	8
2.1. Objetivo general	8
2.2. Objetivos específicos	8
3. ESTADO DE LA CUESTIÓN	9
3.1. Un escenario de cambio climático	9
3.2. Arquitectura bioclimática. El concepto de sostenibilidad y ahorro energético	10
3.3. Los recursos pasivos de climatización	11
3.4. Sistemas de protección solar. Tipos y materiales	14
3.5. Análisis de normativa existente	15
4. METODOLOGÍA	19
5. CASO DE ESTUDIO EXPERIMENTAL	20
5.1. Análisis térmico	20
5.2. Estudio de solar	22
5.3. Exposición a la radiación solar directa	23
5.4. Variables del modelo teórico	27
6. ANÁLISIS DEL MODELO TEÓRICO	28
6.1. Método de cálculo de las dimensiones de los elementos	28
6.2. Simulaciones	29
7. ANÁLISIS DE MATERIALES	94
8. PARÁMETROS DEL DISEÑO TEÓRICO	100
9. CORRECCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO PARA EL ESCENARIO DE 2050	104
10. CONCLUSIONES	111
10.1. Conclusión general	111
10.2. Conclusiones específicas	112
10.3. Futuras líneas de investigación	113
11. BIBLIOGRAFÍA	114

1. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Nos encontramos en una zona climática donde alcanzamos temperaturas muy elevadas, teniendo la necesidad de protegernos. Pero protegernos del calor no tiene que significar encender la climatización, emitiendo gases contaminantes al ambiente y favoreciendo al calentamiento global, entrando en un círculo vicioso. Como arquitectos tenemos que ser capaces de buscar soluciones, o adaptar las que existen, para conseguir una protección pasiva a las altas temperaturas.

Bajo un contexto en el cual se prevé un aumento de la temperatura de hasta 4,8°C en latitudes aproximadas a 37º para 2050, según el IPCC, se hace evidente la necesidad de estudiar y optimizar los sistemas que ayudan a disminuir la demanda energética de los edificios debida a la climatización, como son los sistemas pasivos. Con esta circunstancia nace, también, la idea de estudiar la viabilidad de los sistemas actualmente eficientes en las condiciones de 2050, teniendo en cuenta que los edificios hoy proyectados, tendrán que hacer frente a este horizonte.

“[...]Si las emisiones continúan aumentando al ritmo actual, se proyecta que los impactos para finales de este siglo incluirán una temperatura promedio global de 2,6 a 4,8°C por encima de la actual” (IPCC, 2013).

La radiación solar es la causa de un aumento muy significativo de la temperatura interior del edificio, por eso vemos necesario el estudio de los elementos sombreadores de fachada, y más aun en latitudes intermedias donde la presencia del sol es muy intensa, para poder llevar su eficiencia al extremo para las orientaciones, tramos horarios y estaciones más desfavorables.

Como ya afirmó Baruch Givoni, los principales sistemas pasivos de climatización son la ventilación y el sombreado de fachadas, siendo este último en el que se centra el estudio.

“Con un funcionamiento pasivo se puede lograr condiciones confortables, [...] asegurando un total oscurecimiento de los espacios interiores y abrir las ventanas para producir la ventilación nocturna en los meses de verano. [...] Los rasgos del diseño arquitectónico que afectan la actuación térmica de un edificio, son sobre todo su carga solar y ganancia de calor en verano, así como su potencial de ventilación” (Givoni, B., 2000).

De esta forma se podrá hacer una comparación de situaciones obtenidas variando el material y la forma para, finalmente, llegar al diseño de un sistema de protección solar optimizado para este futuro.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Este trabajo tiene la finalidad de analizar los condicionantes climáticos y técnicos que repercuten en el diseño de protecciones solares en latitudes intermedias y en un escenario de cambio climático, como base para obtener unos parámetros de diseño teórico de un elemento sombreador de fachada.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los materiales de menor impacto y mayor durabilidad.
- Diseñar, teóricamente, un sistema versátil, adaptado al entorno y al clima.
- Obtener un modelo teórico eficiente para la mayor parte de las variables actuales.
- Adaptar los parámetros actuales a las exigencias que nos planteará el horizonte 2050, según las previsiones del IPCC.

3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

3.1. UN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO

Ya desde finales del siglo pasado se venían evidenciando los efectos secundarios que traería consigo el proceso de desarrollo industrial, con sus ingentes emisiones de gases contaminante derivado del consumo incesante de combustibles fósiles.

Las consecuencias de esta situación deriva en unas previsiones de aumento de las temperaturas medias anuales, a nivel global, durante las próximas décadas, y que, aunque se esté luchando contra este Calentamiento Global, será difícil revertir esta situación. Con estudios realizados, el IPCC (2013) afirma que *“aún si las emisiones se detienen inmediatamente, las temperaturas permanecerán elevadas durante siglos debido al efecto de los gases de efecto invernadero producidos por las emisiones humanas del pasado que ya están presentes en la atmósfera”*.

Según el Quinto Informe de Valoración del IPCC (2013), se estima que la temperatura media global en 2050 habrá aumentado de 1,6°C, en el mejor de los casos, al reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), hasta 3°C si se siguen emitiendo las mismas cantidades de GEI. Con este volumen de emisiones, se estima un posible aumento de hasta 6°C en el 2100.

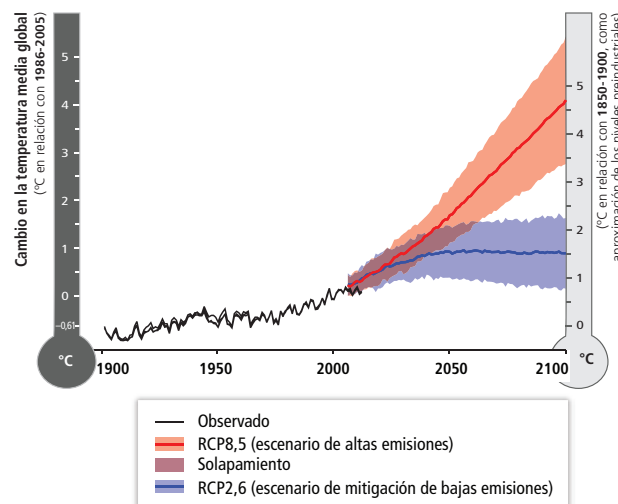


Fig.01- Gráfica de previsión del aumento de la temperatura media global. Fuente: Quinto Informe de Evaluación del IPCC (2013). Impactos, adaptación y vulnerabilidad.

En el marco político, desde los años 70 se vienen realizando diversas reuniones y Cumbres Mundiales para atajar el problema medioambiental.

En 1972 se celebra la primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medioambiente, en Estocolmo, de la que nacería el Programa de Naciones Unidas para el Medioambiente (PNUM), clave para la lucha contra el Cambio Climático, ya que junto a la Organización Meteorológica Mundial, crearían el Grupo Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en 1988. Este organismo se encarga de realizar y difundir informes periódicos en los que expone estudios y evaluaciones sobre las proyecciones previstas por el Cambio Climático y otros informes para mitigar estos efectos.

En 1992 se lleva a cabo otra conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medioambiente y el Desarrollo, en Río de Janeiro (Cumbre de la Tierra). Esta vez surgiría un compromiso vital y de gran relevancia actual, el Protocolo de Kyoto, firmado finalmente en 1997. Los países que firmaron este tratado se comprometían a reducir las emisiones de GEI, como el CO₂ o el dióxido de carbono, para mitigar los efectos del Cambio Climático. Se marcaban dos plazos para este protocolo: de 2008 a 2012 y de 2013 a 2020.

El 22 de Junio de 2016 se firma el Acuerdo de París, también histórico en este marco, que empezará a aplicarse tras finalizar el Protocolo de Kyoto, el 31 de diciembre de 2020.

“La arquitectura, por su parte, como ejercicio que en esencia busca establecer una piel, una capa de protección al ser humano frente a la adversidad del entorno natural, había olvidado dialogar con ese espacio en el que se insertaba, había olvidado cómo funcionar cuando hace frío, cuando hace calor, cuando el ambiente es excesivamente húmedo o cuando es muy seco. De repente, esto ya no era una preocupación del arquitecto, que se encargaba de diseñar contenedores a los que el tecnicismo y los dispositivos eléctricos y mecánicos le resolverían las carencias presentes; carencias derivadas de no ser energéticamente sensible a su entorno.

Como una más de las actividades humanas, la arquitectura no era más que el testigo de lo que sucedía en otros sectores, como la industria o el transporte. La idea de un mundo con materias primas ilimitadas y con una infinita capacidad de absorber residuos ha tenido como consecuencia el desencadenamiento de la mayor Crisis Medioambiental que ha vivido la Tierra desde que el ser humano apareció en ella” (Pérez, R., 2017, p.11)

El IPCC (2013) afirma que en el año 2010, los edificios concentraron el 32% del consumo global de energía final y el 19% del total de las emisiones de GEI. También defiende que estas emisiones del sector de la construcción podrían duplicarse o triplicarse para el año 2050, y se estima que, sin políticas de mitigación adicionales a las existentes, la demanda energética global de sistemas de aire acondicionado aumente de 300 TWh en el año 2000 a los 4000 TWh para el 2050.

3.2. ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA. EL CONCEPTO DE SOSTENIBILIDAD Y AHORRO ENERGÉTICO

La arquitectura sostenible es un modo de dirigir un proyecto arquitectónico en busca de la optimización de recursos que dañen lo mínimo posible al medio que nos rodea, minimizando el impacto ambiental sobre el medio ambiente y la sociedad. Para ello hay que estudiarlo desde la elaboración de los materiales a emplear en la obra, hasta la demolición del edificio, sin perjudicar el confort y bienestar final de los propietarios.

“El conocimiento de posibles escenarios climáticos cambiantes puede permitir prever una mejor comprensión de la adaptación climática, y así reducir los recursos y conseguir niveles aceptables de confort, entendiendo este último término como parámetro psicofísico que atiende a una relación entre ser humano, arquitectura y hábitat que se ha decantado de forma particular en cada cultura, sociedad y clima.” (Givoni, B., 1969)

Los pilares sobre los que se erige la arquitectura sostenible son:

- El estudio de las condiciones geográficas, teniendo en cuenta el clima, su hidrografía y el contexto que rodearía la futura construcción, para así conseguir un óptimo resultado (mayor rendimiento y menor impacto).
- Primar los materiales más eficientes, teniendo en cuenta la proximidad y el método de fabricación, priorizando, obviamente, las de bajo contenido energético. Pero también ha de tenerse en cuenta la calidad de los materiales, para poder reducir la necesidad de mantenimiento, y aumentar la vida útil del edificio, incluso reutilizar los materiales al demoler el edificio.
- Maximizar el ahorro energético, utilizando sistemas de bajo consumo en las instalaciones, reduciendo el consumo de agua, ya sea aprovechando las aguas grises y pluviales, o utilizando dispositivos preparados para el ahorro. También evidente el uso de fuentes de energía renovable.
- Proyectar los espacios de forma eficiente, no sobrepasando las necesidades del uso y teniendo en cuenta futuras “mutaciones” del espacio.
- Reducir el consumo energético en climatización, utilizando sistemas pasivos, aprovechando, por ejemplo la radiación solar para calentar las estancias en las situaciones de frío, o protegiéndose de la misma mediante elementos sombreadores en lugares calurosos.

3.3. LOS RECURSOS PASIVOS DE CLIMATIZACIÓN

“La información respecto al funcionamiento pasivo para regiones de climas cálidos debe considerar muy especialmente una cuidadosa respuesta de los siguientes aspectos: la forma urbana y del edificio, la orientación de las habitaciones principales y de las ventanas, los dispositivos de oscurecimiento para las ventanas y los colores de la envolvente del edificio” (Givoni, B., 2000).

Antiguamente se buscaba el confort utilizando los materiales naturales de los que se disponía. Sin embargo, hace ya años que se abandonó esta forma de construir en favor de los sistemas mecanizados, dando la espalda a unos recursos que permiten ahorrar energéticamente, a parte de una sensación de confort más amable que las que prestan los sistemas activos.

Diseñar un edificio con sistemas pasivos es equiparlo de elementos constructivos acordes a la situación o contexto que envuelve al edificio, obteniendo una situación de confort térmico con el mínimo aporte energético posible.

“La arquitectura bioclimática busca construir con el clima no contra él y se caracteriza por su voluntad de adaptarse al entorno” (Farràs Pérez, L., 2012).

El ahorro que permite este tipo de construcciones es de entre un 30 y un 40% de la energía consumida. A continuación se describe el funcionamiento de algunos de los sistemas pasivos más comunes:

- **Orientación del edificio.** Lo primero que hay que plantearse son las necesidades que aparecen dependiendo del clima en el que se asentará el edificio. Es decir, dependiendo de la situación geográfica se tienen unas necesidades u otras.

En situaciones de clima caluroso, hay que evitar las ganancias por radiación, por lo tanto, las grandes aberturas y fachadas principales se deben orientar al Norte, protegiendo la cara Sur, al ser esta la zona que más sufre la radiación solar.

En situaciones de clima frío, donde es necesario buscar ganancias térmicas, las grandes aberturas y principales fachadas tienen que estar en el lado Sur, de esta forma se aprovecha la radiación solar y se obtiene luz natural.

- **Ventilación cruzada.** Consiste en conseguir una corriente continua de aire en el interior del edificio, con una entrada y salida directa de aire. Es clave el punto anterior para poder llevar a cabo este sistema ya que ha de haber una correcta orientación para tener los huecos bien situados y un estudio de los vientos en la zona. Las aberturas deben disponerse en fachadas opuestas, teniendo las de entrada más protegidas del sol y lo más bajas posible, mientras que las de salida, lo más altas posible. Así entrará el aire fresco que tiende a estar abajo y saldrá el aire caliente que tiende a estar en la parte superior.

- **Acabados (color de las fachadas).** El acabado de la fachada juega un gran papel en la climatización pasiva desde la arquitectura tradicional. Como ejemplo tenemos los encalados de los “pueblos blancos” en el sur de España, que utilizan esta técnica para evitar la absorción de la radiación solar.

- **Patios interiores.** La función de estos patios es dar sombra a las estancias interiores y refrescar el aire que entra en estas. Si en el interior del patio se sitúa vegetación o puntos de agua, esto dará mayor frescor al edificio ya que las corrientes de aire que penetran serán más frías. Esto se debe a que el agua al evaporarse necesita un calor que coge del ambiente, refrescándolo.

- **Chimenea solar.** Se basa en la construcción de una chimenea de color negro para absorber la radiación solar, esto hace que se caliente intensamente el aire de su interior forzando una corriente de aire ascendente y expulsando el aire caliente del edificio al exterior.

- **Torre de viento.** Este sistema pasivo es similar a la chimenea solar, pero su forma de fomentar la corriente de aire en el interior es mediante el paso del aire caliente por la parte superior de esta chimenea. Para que este sistema funcione es necesario que exista movimiento de aire en el exterior.

- **Pozo Canadiense.** Con este sistema pasivo se aprovecha la temperatura del terreno para adaptar la temperatura del aire exterior a las necesidades del interior. El aire se enfría o se calienta, ya que el subsuelo se encuentra unos grados por debajo o por encima de la temperatura ambiente, dependiendo de la época del año.

Consiste en enterrar una tubería a uno o dos metros de profundidad desde el edificio hasta un punto en el exterior. Este punto será la entrada de aire, caliente o frío, dependiendo de la época del año y se regularizará su temperatura mediante el contacto con el terreno, antes de entrar en el edificio.

- **Muro Trombe.** Al igual que el pozo Canadiense, este sistema sirve tanto para calentar como para enfriar el ambiente interior. Se trata de un muro con gran inercia térmica (incluso puede ser de color negro) situado detrás de una fachada de vidrio. Entre estas dos hojas se crea una cámara de aire caliente. Dicho muro cuenta con dos aberturas, una superior y otra inferior.

En situaciones de calor funciona como una Chimenea Solar, formando una corriente de aire hacia el exterior, mientras que en invierno el aire frío del interior pasa por la cámara de aire y vuelve a entrar ya caliente al interior. Además, el propio muro calienta el ambiente mediante convección.

- **Alta masa térmica.** Este sistema se basa en la capacidad de los materiales de absorber y liberar calor. Se utilizan materiales con alto calor específico, alta densidad y baja conductividad térmica, como el adobe, la piedra o el hormigón. Se disponen cerramientos y particiones con estas características que absorban mucho calor durante el día y lo libere durante la noche, funcionando cíclicamente.

- **Protección solar (elementos sombreadores de fachada).** En zonas de veranos cálidos como el sur de España, es fundamental huir de la radiación solar. Uno de los sistemas pasivos básicos y más utilizados se basa en proporcionar sombra a la fachada, principalmente a los huecos al ser por donde más ganancias térmicas obtiene el edificio.

Las fachadas que necesitan mayor protección son las de orientación Este y Oeste, al ser las que mayor número de horas de radiación directa perciben en verano.

Existen multitud de tipos de elementos sombreadores, como toldos, aleros, celosías, lamas, etc.

Algunos de estos sistemas se diseñan para permitir la entrada de los rayos del sol en invierno. Por ejemplo, las lamas pueden orientarse con un ángulo de tal forma que en invierno permita la entrada de los rayos, pero en verano no.

3.4. SISTEMAS DE PROTECCIÓN SOLAR

Aproximadamente la mitad de los intercambios de energía con el medio ambiente se realiza por radiación. Aunque parte de la radiación solar se refleja o se dispersa antes de llegar a la superficie terrestre, la mayor parte de esta es absorbida por la fachada de los edificios, y sobre todo por los huecos acristalados, y transformada en calor; elevando la temperatura interior; es decir, aunque es cierto que no llega a incidir el 100% de la radiación solar, la cantidad que puede penetrar es muy importante, por lo que, en zonas climáticas de veranos cálidos se hace fundamental el proteger al edificio de los rayos del sol.

Algunos de los principales sistemas sombreadores de fachada son los siguientes:

- **Toldos.** Se trata de un elemento que se acopla fácilmente a la edificación, económico y eficiente. Es muy común en viviendas para proteger ventanas, balcones o patios. Permite la posibilidad de utilizarse solo cuando es necesario, en las horas de fuerte radiación solar; plegándose durante la noche, para permitir mayor ventilación, o en invierno, para absorber los rayos del sol.

Normalmente cuentan con una estructura de aluminio y un elemento textil como protección solar.

- **Aleros o voladizos.** Son parte de la propia construcción del edificio, pudiendo ser la continuación del propio forjado, para proteger la fachada. El vuelo necesario de este elemento depende de la inclinación solar, por lo que ha de tenerse en cuenta las horas de mayor radiación en la localización de la edificación.

Su funcionamiento es parecido al toldo, pero este es fijo y totalmente opaco, por lo que no deja pasar nada de luz. Son más eficientes en fachadas Norte y Sur debido a que en estos puntos el sol incide más verticalmente .

- **Vegetación.** Es una de las soluciones más antiguas y eficientes, ya que proporciona sombra a la fachada a la vez que permite la convección natural del aire entre la fachada y las hojas y refrescando mediante la evaporación.

Es necesaria una correcta elección de las plantas dependiendo de las necesidades. En lugares de temperaturas dispares se debe elegir vegetación caduca para que en invierno deje pasar la radiación solar, mientras que en verano la protege de esta.

- **Celosías.** Se trata de una capa exterior de la fachada con unas perforaciones que suelen ser diseños decorativos. Este juego con las perforaciones permiten una experiencia de luz natural y sombras muy interesante en determinados espacios.

Las celosías son eficaces para todas las orientaciones debido a que funciona como una combinación de lamas horizontales y verticales. Sin embargo, hay que tener muy en cuenta la dimensión de los orificios, tanto para la iluminación como para la ventilación natural. Pueden ser de diversos materiales, como de hormigón, madera, aluminio, etc.

- **Láminas micro-perforadas.** Son planchas metálicas que cuentan con muchas y pequeñas perforaciones, que hacen que funcionen como un filtro, dejando pasar la luz solar y atrapando la radiación. Al igual que las celosías tienen un buen funcionamiento para todas las orientaciones. Pueden ser de acero, aunque las más comunes son de aluminio ya que son más ligeras.

- **Lamas.** Se trata de una serie de elementos que conforman una hoja exterior de la fachada con el fin de detener la radiación solar más agresiva, por lo que hay que tener en cuenta el ángulo de incidencia del sol donde se localizará este sistema.

Pueden ser elementos verticales, horizontales, o una combinación de ambas, y fijos o móviles. Con esta última opción se deja la posibilidad de regular, a placer, el grado de protección según la necesidad.

Al igual que sucede con los aleros, las lamas de orientación horizontal son más efectivas en orientaciones Norte y Sur, mientras que las verticales son más eficientes en fachadas Este y Oeste, donde los rayos del sol llegan más horizontalmente.

“Las horas a lo largo del año en que la temperatura del aire se encuentra por encima de la zona de confort definirán el período de sobrecalentamiento y, por lo tanto, las horas necesarias de sombra para minimizar las ganancias térmicas en el interior de la edificación” (Guimaraes Merçon, M., 2008).

Las lamas suelen contar con una subestructura anclada a la estructura principal del edificio, que puede ser de acero, aluminio u hormigón. A esta se fijan las lamas que pueden tener diversa materialidad: hormigón, aluminio, madera, etc. La forma de estas también puede ser muy variada, teniendo sección cuadrada, rectangular, con forma de ala de avión, una fina hoja, etc.

3.5. ANÁLISIS DE LA NORMATIVA EXISTENTE

La crisis medioambiental ha impulsado, en la mayoría de países, medidas de ajuste que, en el ámbito del consumo energético, se están plasmando en legislaciones y normativas para lograr un aumento de la eficiencia energética y el ahorro de energía.

En el marco legislativo contra el Cambio Climático se han ido impulsando multitud de leyes o medidas de ajuste para controlar este consumo energético. A nivel mundial tenemos una serie de pactos entre estados comprometidos con la causa, que se han materializado en protocolos y acuerdos que son la base de la que se nutren las posteriores leyes y normas creadas por cada estado. También nos encontramos con una serie de objetivos a nivel Europeo plasmados en Directivas de Eficiencia Energética.

El Protocolo de Kioto sobre cambio climático, acordado en 1997 y puesto en marcha en 2005 gracias a la ratificación de un número de países equivalente al 55% de la generación de CO₂ del mundo, tiene como objetivo reducir las emisiones de seis gases relacionados con el calentamiento de la atmósfera a partir del efecto invernadero y detener el cambio climático que aumentará este siglo entre 1,4 y 5,8°C la temperatura

de la superficie de la Tierra. En el Estado Español, según el Observatorio de la Sostenibilidad de España, las emisiones han crecido un 50% desde 1990.

El Tratado de Lisboa, en vigor desde el uno de diciembre de 2009, modifica los actuales Tratados de la UE y la CE, y sin llegar a sustituirlos brinda a la Unión el marco y los instrumentos jurídicos necesarios para afrontar los retos del futuro y responder a las expectativas de los ciudadanos. El nuevo tratado contiene un capítulo expresamente dedicado a la energía en el que se definen las competencias fundamentales y los objetivos generales de la política energética, haciéndose referencia expresa a la eficiencia y el ahorro energéticos.

El Acuerdo de París, suscrito dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, establece medidas para la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a través de la mitigación, adaptación y resiliencia de los ecosistemas a efectos del Calentamiento Global, su aplicabilidad está ligada al año 2020, cuando finaliza la vigencia del Protocolo de Kioto. El acuerdo fue negociado durante la XXI Conferencia sobre Cambio Climático (COP 21) por los 195 países miembros, adoptado el 12 de diciembre de 2015 y abierto para firma el 22 de abril de 2016. Como se enumera en su Artículo 2, el acuerdo tiene como objetivo “reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza”.

La Directiva 2006/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos y por la que se deroga la Directiva 93/76/CEE del Consejo, establece que la certificación del rendimiento energético de los edificios se considera equivalente a una auditoría energética destinada a las microempresas y a las pequeñas y medianas empresas. Además, dicha certificación es de naturaleza equivalente a una auditoría energética, con las recomendaciones sobre rentabilidad resultantes. No obstante, tras la derogación de la citada Directiva 93/76/CEE del Consejo, se mantiene la vigencia de sus principios inspiradores tendentes a fomentar la mejora de la eficiencia energética de los edificios que deben tener en cuenta las condiciones climáticas y las particularidades locales, así como el entorno ambiental interior y la relación coste-eficacia. Dichas medidas no deben contravenir otros requisitos esenciales aplicables a los edificios, tales como la accesibilidad, la prudencia y la utilización a que se destine el edificio.

La transposición de las citadas normas comunitarias a nuestro ordenamiento jurídico nacional se ha llevado a efecto, principalmente, a través de la aprobación de las normas siguientes:

- Real Decreto 314/2006, Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Real Decreto 47/2007, regulador del Procedimiento básico de Certificación Energética de Edificios de nueva construcción.
- Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.
- Real Decreto 564/2017, de 2 de junio, por el que se modifica el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.

Con el Código Técnico de la Edificación (CTE), Real Decreto 314/2006 se consiguen establecer las reglas y mecanismos que permiten cumplir las exigencias básicas en cuanto a Protección frente al ruido, Salubridad y Ahorro de Energía. En cuanto al aislamiento térmico, uno de los factores determinantes en el proceso de diseño de una fachada, ya que está intrínsecamente ligado al futuro ahorro energético del edificio en su periodo de utilización.

Es en el mencionado DB HE Ahorro de Energía donde se establecen los requisitos básicos para conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y que parte de este proceda de energías renovables.

La exigencia básica de Ahorro de Energía HE1 Limitación de la demanda energética, antes citado, establece la necesidad de disponer en los edificios de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética esencial para alcanzar el confort térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen verano e invierno, así como por sus características de aislamiento, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar. Las fachadas pueden presentar también puntos concretos con deficiencias locales de aislamiento, los conocidos puentes térmicos, zonas que comparativamente con el resto de la fachada permiten un mayor flujo de energía calorífica entre el interior y exterior de la fachada. El tratamiento sobre estos puntos también se encuentra reflejado en la HE1 limitando las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos de los mismos.

En cuanto a la oportunidad de la adecuación medioambiental de los edificios, hay que considerar que el promedio de consumo de energía, en base al aislamiento, para el funcionamiento del sistema de climatización de los edificios en España, es aproximadamente el 64% de la factura energética total, un importe muy elevado para no tenerlo en cuenta. Según la Guía práctica de la energía para la rehabilitación de edificio (2008), la rehabilitación podría reducir a la mitad dicho consumo. Por otro lado, dicha reducción en el consumo evitaría la emisión de entre un 10% a un 30% de CO₂, siendo esto muy importante, ya que el consumo energético del parque edificado puede suponer la tercera parte del total de las emisiones de CO₂ en España y que constituyen la principal causa del efecto invernadero. Es por ello, que desde el propio Gobierno, se coloque la rehabilitación energética de edificios en el punto más alto dentro del modelo de sostenibilidad desarrollado por el Gobierno y que ya se plantea entre las directrices de la futura Ley de Cambio Climático y Transición Energética.

Según los cálculos realizados se prevé un ahorro, en el ámbito de la vivienda, de las facturas eléctricas medias de aproximadamente unos 280 euros al año, según las tarifas entonces en vigor, al realizar la rehabilitación energética de las viviendas. Estos cálculos son extrapolables con un factor de mayoración, debido a la repercusión indirecta de los costes energéticos sobre los usuarios, a edificios públicos donde el consumo de energía supone uno de los capítulos más importantes de gastos corrientes de mantenimiento de las instalaciones.

En abril de 2006, la Asociación Nacional de Industriales de Materiales Aislantes (ANDIMA) y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) firman un convenio de colaboración con el objetivo de promover actuaciones encaminadas a mejorar la eficiencia energética de la envolvente térmica de los edificios de nueva construcción y de los existentes, así como del aislamiento de los equipos y redes de tuberías de las instalaciones de calefacción, climatización y producción de agua caliente sanitaria.

En este espacio, se irá ubicando el fruto de los trabajos de divulgación realizados por los asociados de ANDIMA, y dirigidos a todos los públicos, desde comunidades de propietarios y usuarios, hasta profesionales de la construcción, para quienes se elaboran las denominadas Guías Técnicas. Por último, se facilitará una base de datos de instaladores cualificados para la correcta aplicación de los materiales aislantes.

4. METODOLOGÍA

El primer paso para poder realizar este trabajo ha sido la búsqueda de información sobre el tema abordado, recurriendo a múltiples artículos, trabajos e informes que nos sirven de base para comenzar el TFG. Se trata de un ejercicio de investigación para obtener los antecedentes a este.

La segunda fase consiste en la realización de una serie de simulaciones mediante el software Ecotect Analysis, escogiendo Sevilla como caso de estudio, de los diferentes sistemas de sombra que serán analizados. Considerando una serie de variables como la orientación, las cinco más desfavorables estas latitudes (Este, Sureste, Sur, Suroeste y Oeste), durante la franja horaria de mayor influencia solar (de 11:00 a 18:00h) y los meses más calurosos del año (Junio, Julio y Agosto).

Tras la obtención de los datos de radiación solar de cada modelo, estos son analizados y comparados para determinar el sistema más eficiente, por orientación y globalmente para las cinco orientaciones previstas. Para obtener el prototipo teórico, se determina la dimensión idónea con la que el elemento funciona correctamente en todas las variables.

Como parámetro final se estudiarán las características de los posibles materiales utilizados para los sistemas de protección, abarcando así la totalidad de los factores necesarios para definir correctamente un elemento sombreador.

Finalmente se analiza la eficiencia de los modelos eficaces en la actualidad, bajo las condiciones previstas para el 2050 por el IPCC. De este modo, concluimos el trabajo exponiendo los parámetros de un prototipo teórico eficiente, que contempla las consecuencias que tendrá el Cambio Climático en un futuro a medio plazo.

5. CASO DE ESTUDIO EXPERIMENTAL

El estudio se realiza para alcanzar una solución pasiva con máxima eficiencia y versatilidad para solucionar las múltiples posibles situaciones, con variables que van desde la orientación hasta la época del año en la que nos encontremos. Todo ello en una localización genérica: latitudes intermedias (35° - 40°).

No obstante, es necesario realizar un modelo tipo con una localización concreta, dentro del rango de latitudes descrito, para obtener unos valores de temperaturas y unos ángulos de altitud y acimut, mediante la carta solar estereográfica. Por lo tanto, como caso de estudio se tomará la latitud de Sevilla (37,4°) con sus previsiones climáticas actuales y las del horizonte 2050. Obtendremos así un modelo teórico para la ciudad de Sevilla que puede ser extrapolado a ciudades con latitudes similares.

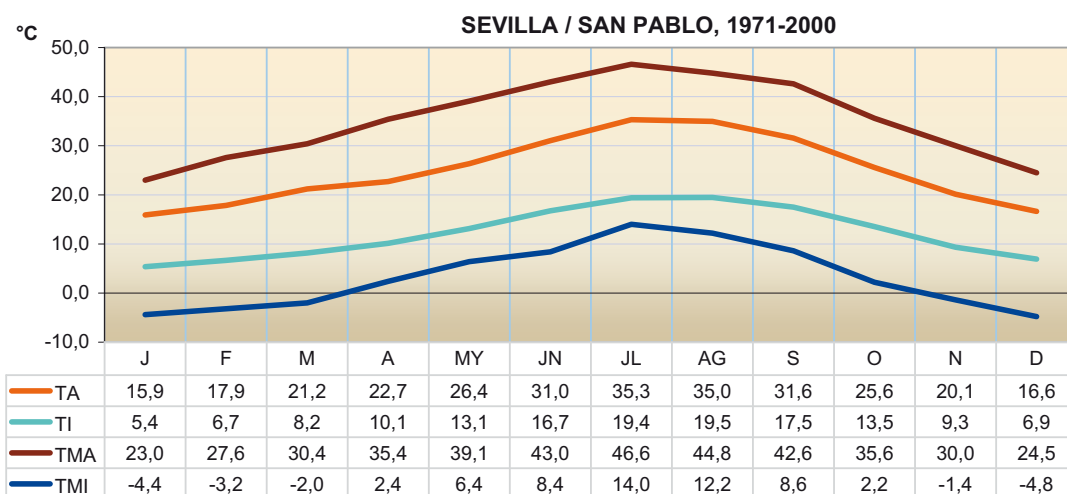
Estos datos se cruzarán en el software Ecotect Analysis 2011 de Autodesk para obtener los valores de radiación solar y sombra proyectada, según la estación y la orientación. Para ello aplicaremos el modelo teórico a una fachada tipo con una ventana de 1m x 1m, situada a un metro de altura respecto al suelo/forjado inferior.

Una vez obtenidos estos datos, se analizarán simultáneamente aspectos relativos a la temperatura exterior del aire y a la radiación solar directa sobre el hueco, debido a que la suma de estos factores determina la eficiencia real del elemento de sombreadamiento.

5.1. ANÁLISIS TÉRMICO

Se empezará obteniendo un modelo virtual de las temperaturas medias mensuales, actuales y previstas en el horizonte 2050, en una franja horaria específica.

En primer lugar se desarrollarán una serie de datos térmicos obtenidos directamente de la Agencia Estatal de Meteorología del gobierno de España (AEMet) desglosados en dos tablas donde se mostrarán los promedios de temperaturas, por meses, en las últimas décadas.



TA: Temp. Media de la máxima; TI: Temp. Media de la mínima; TMA: Temp. Máxima absoluta; TMI: Temp. Mínima absoluta.

Fig. 02- Normales climatológicas de la temperatura del aire en Sevilla/San Pablo (1971-2000).
Fuente: Atlas Climatológico Ibérico. p. 33.

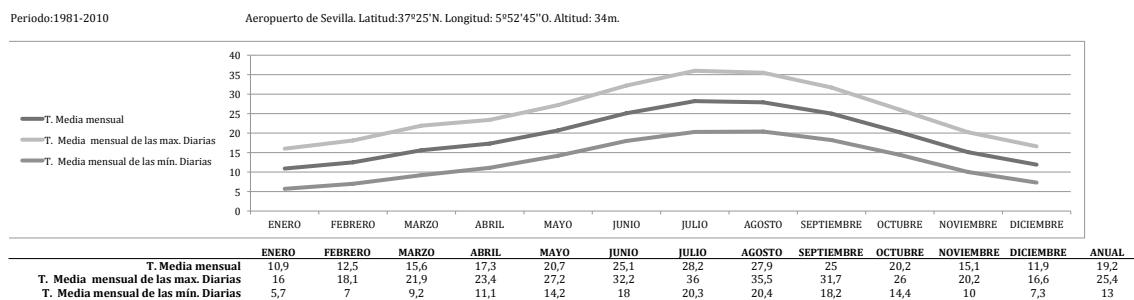


Fig. 03- Normales climatológicas de la temperatura del aire (en °C), en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla (1981-2010). Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de la web de la AEMet. <http://www.aemet.es/es/portal/serviciosclimaticos/datosclimatologicos>

Comparando las dos tablas expuestas se muestra la evidencia de la subida de las temperaturas normales simplemente al realizar el estudio con un desfase de una década.

Para este estudio en concreto es necesario realizar una acotación de las temperaturas, ya que la incidencia solar es la parte a tener en cuenta en esta investigación. Por tanto, es necesario realizar una media de la temperatura para el tramo diario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas, entendiendo que este es el de mayor protagonismo de la radiación solar.

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
T(11-18h)	14,5	16,1	18,9	21,2	25,4	29,5	33,5	33,3	30,2	24,5	18,4	15,0

	INVIERNO	VERANO	ESTACIONES INTERMEDIAS
T (estación)	15,2	32,1	23,1

T(11-18h): Temp. Media en el tramo horario de 11:00 a 18:00h por meses.

T(estación): Temp. Media en el tramo horario de 11:00 a 18:00h por estación.

Fig. 04- Normales climatológicas de la temperatura del aire (en °C), en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

En la siguiente gráfica podemos observar la previsión de la evolución de las temperaturas normales, realizadas por el IPCC, a lo largo del siglo XXI en Sevilla.

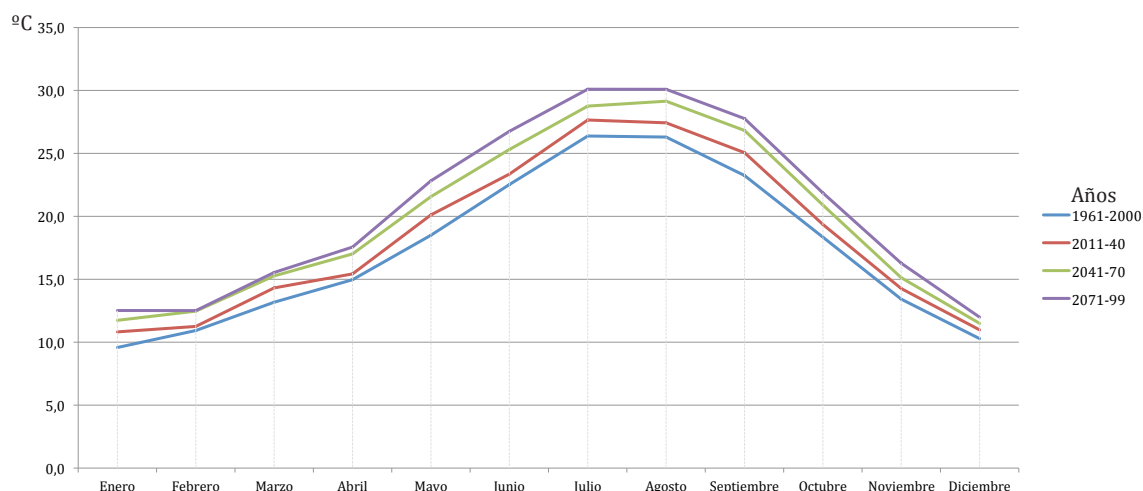


Fig. 05- Previsión de la evolución de las temperaturas normales (en °C) a lo largo del siglo XXI en Sevilla, en relación con las normales de 1961 al año 2000. Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, mediante datos proporcionados por el IPCC.

Podemos observar que a lo largo del presente siglo notaremos un aumento de temperaturas normales que se hará más significativo durante los meses de verano. En los meses de estaciones intermedias se llegarán a alcanzar temperaturas propias de los veranos actuales.

5.2. ESTUDIO SOLAR

Para conocer la incidencia solar en una fachada tipo es fundamental conocer la posición solar en cada momento mediante los ángulos de altitud y acimut. Para ello utilizaremos una carta solar estereográfica y obtendremos los valores exactos mediante el software Ecotect Analysis.

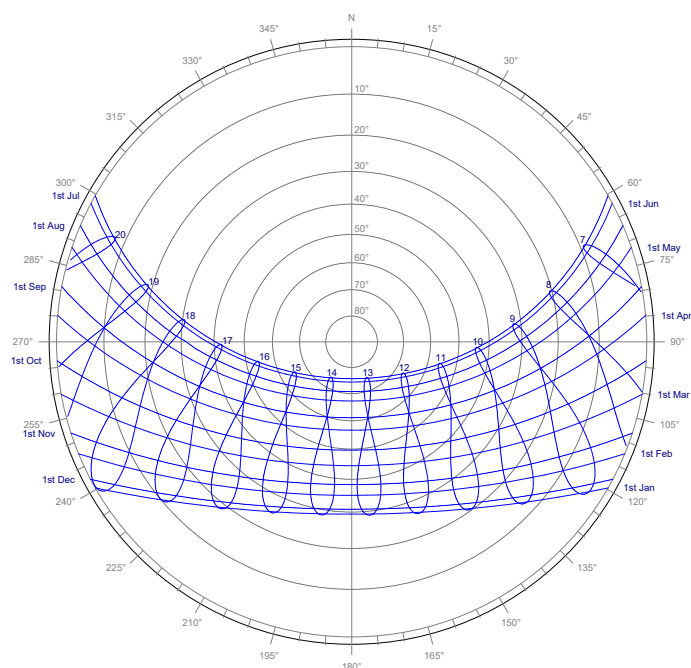


Fig. 06- Carta solar estereográfica de Sevilla (37,4°N; 5,9°E). Fuente: datos del DOE de EEUU y Ecotect Analysis.

Para obtener una visión general del comportamiento de cada elemento estableceremos cuatro días que resumen el recorrido solar y, complementariamente, el día estadísticamente más caluroso del año en esta localización:

- **Solsticio de invierno:** 21 de Diciembre
- **Equinoccios:** 21 de Marzo y 21 de Septiembre
- **Solsticio de verano:** 21 de Junio
- **Día estadísticamente más caluroso del año:** 21 de Julio. De este día obtendremos los datos de posición solar para adaptar las dimensiones de protección solar obtenidas mediante la tabla de ángulos de Arias y Ávila (2004) para latitudes 20ºN.

5.3. EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN SOLAR DIRECTA

Cruzando los datos de temperaturas y posición solar, utilizando el software, se puede obtener la incidencia de radiación solar para cada orientación específica teniendo en cuenta las simulaciones a partir del archivo climatológico de Sevilla obtenido del Department of Energy (DOE) de EEUU.

Ecotect nos presta la posibilidad de obtener la radiación media mensual por horas o los valores de percibidos durante un día concreto. Se opta por la primera opción ya que nos arroja una idea más genérica de la que vamos a recibir durante durante el año y no en un día concreto, que puede variar mucho respecto a otros.

Los siguientes gráficos muestran la incidencia solar actual sobre una fachada tipo para cada una de las orientaciones de estudio.

NORTE

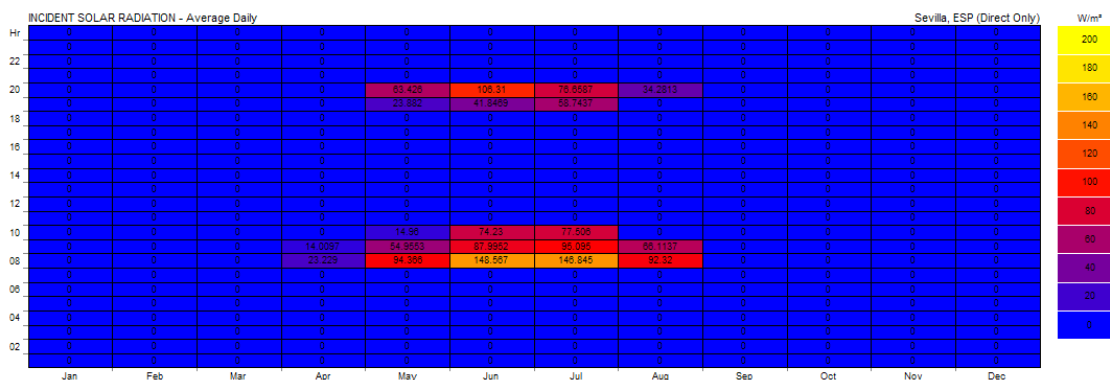


FIG. 07- Incidencia de radiación solar directa (Wh/m²) en ventana tipo con orientación Norte.

Fuente: simulaciones con software Ecotect Analysis y datos del DOE de EEUU.

En esta imagen se representan los datos de incidencia de la radiación media por horas proporcionados por una simulación con los datos climáticos actuales. Tal como se puede apreciar, en la orientación Norte, la concentración de valores se produce en dos periodos correspondientes a los rangos: de 7 a 10 horas durante Abril, Mayo, Junio, Julio y Agosto, y de 18:00 a 20:00 horas durante los meses Mayo, Junio, Julio y Agosto. Tan solo de 8:00 a 9:00 horas en Junio y Julio son superados los 140 W/m².

NORESTE

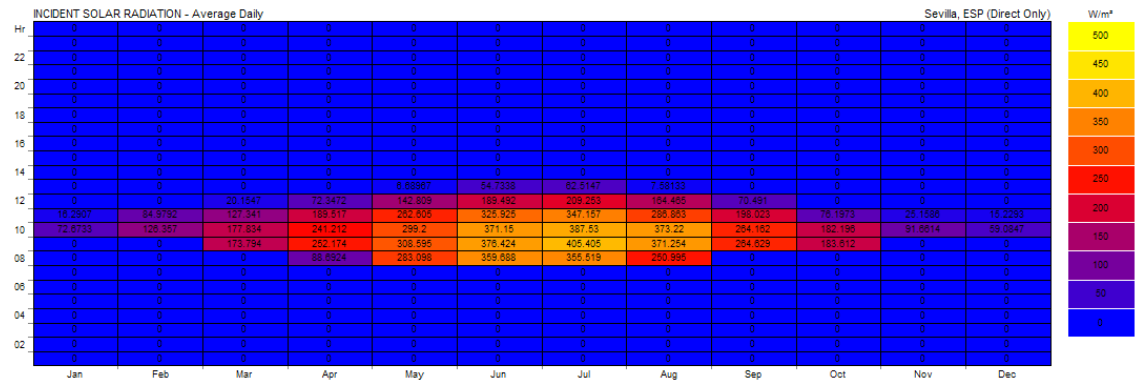


FIG. 08- Incidencia de radiación solar directa (Wh/m²) en ventana tipo con orientación Noreste.
Fuente: simulaciones con software Ecotect Analysis y datos del DOE de EEUU.

En la orientación Noreste, observamos una concentración de valores muy altos de radiación en los meses de verano, durante las primeras horas de la mañana (llegando a superar los 400Wh/m² en Julio a las 9:00h). No obstante, a partir de las 12:00h la radiación es nula, al igual que en el mayor tiempo de los meses de invierno.

ESTE

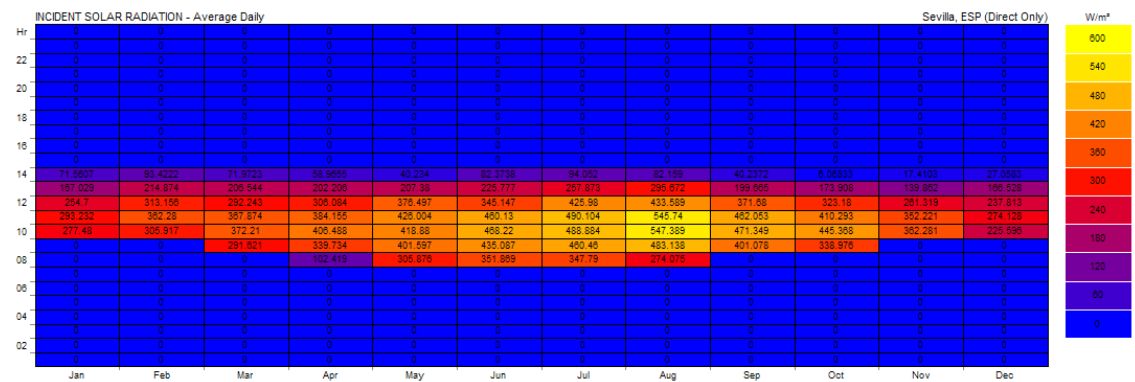


FIG. 09- Incidencia de radiación solar directa (Wh/m²) en ventana tipo con orientación Este.
Fuente: simulaciones con software Ecotect Analysis y datos del DOE de EEUU.

En esta situación ya se empieza a mostrar una mayor presencia solar, con radiaciones muy altas durante prácticamente todo el año, principalmente en verano, donde alcanzamos valores superiores a 500 Wh/m² en algunos momentos de Agosto.

SURESTE

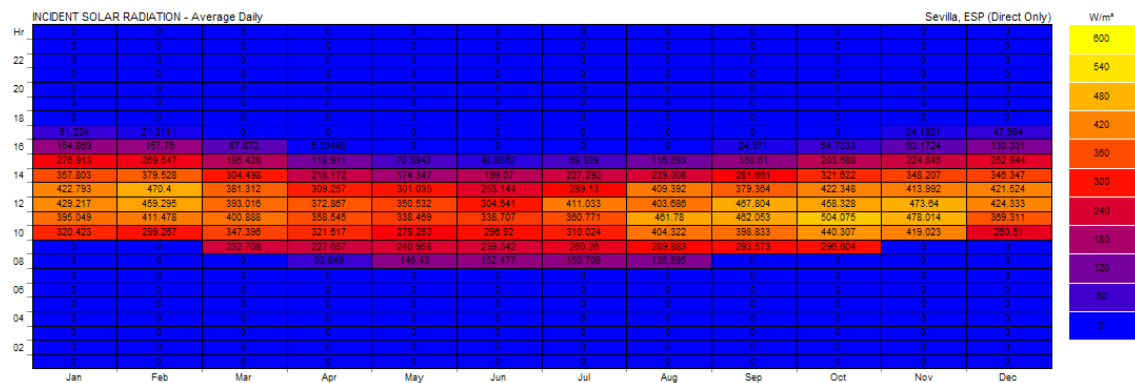


FIG. 10- Incidencia de radiación solar directa (Wh/m²) en ventana tipo con orientación Sureste.
Fuente: simulaciones con software Ecotect Analysis y datos del DOE de EEUU.

En este caso seguimos teniendo radiaciones muy importantes, siempre superiores a 300 Wh/m² en la franja horaria de 9:00 a 13:00h. Los valores más altos se alcanza en las estaciones intermedias, con hasta 504 Wh/m² a las 10:00h de Octubre.

SUR

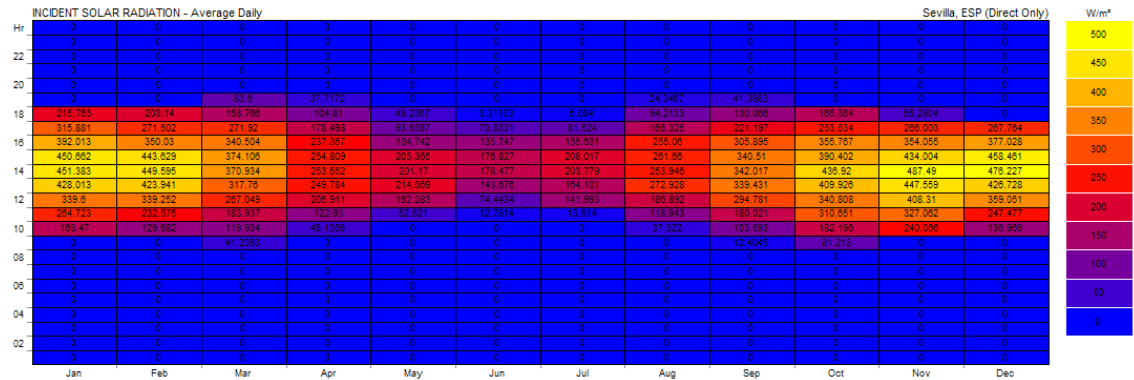


FIG. 11- Incidencia de radiación solar directa (Wh/m²) en ventana tipo con orientación Sur. Fuente: simulaciones con software Ecotect Analysis y datos del DOE de EEUU.

En la orientación Sur se muestran valores de radiación no muy altos en verano, con un máximo de 272 Wh/m² en Agosto, a las 12:00h. Es en invierno cuando la fachada recibe mayor radiación solar.

SUROESTE

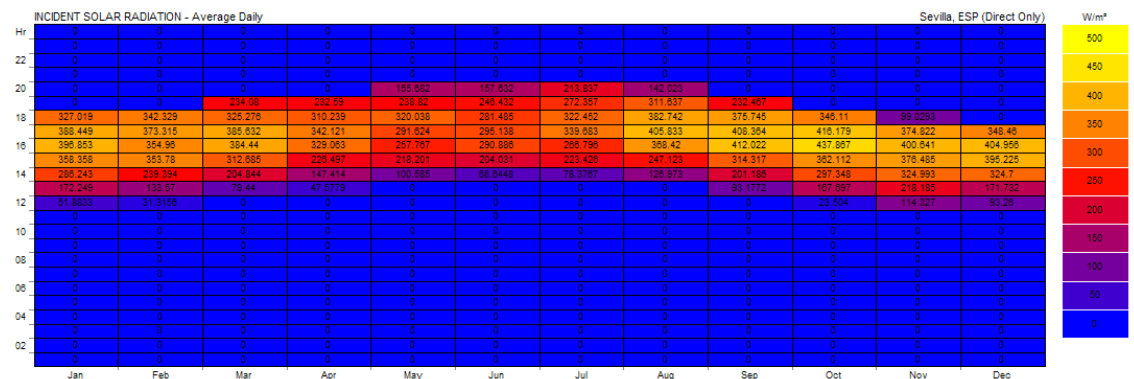


FIG. 12- Incidencia de radiación solar directa (Wh/m²) en ventana tipo con orientación Suroeste. Fuente: simulaciones con software Ecotect Analysis y datos del DOE de EEUU.

La radiación en fachadas al Suroeste sufren más radiación en las horas finales del día, con valores altos en verano, superando los 300 Wh/m² en muchos casos, incluso los 400 Wh/m² en Agosto. Durante las estaciones intermedias e invierno se observan valores más altos que en verano.

OESTE

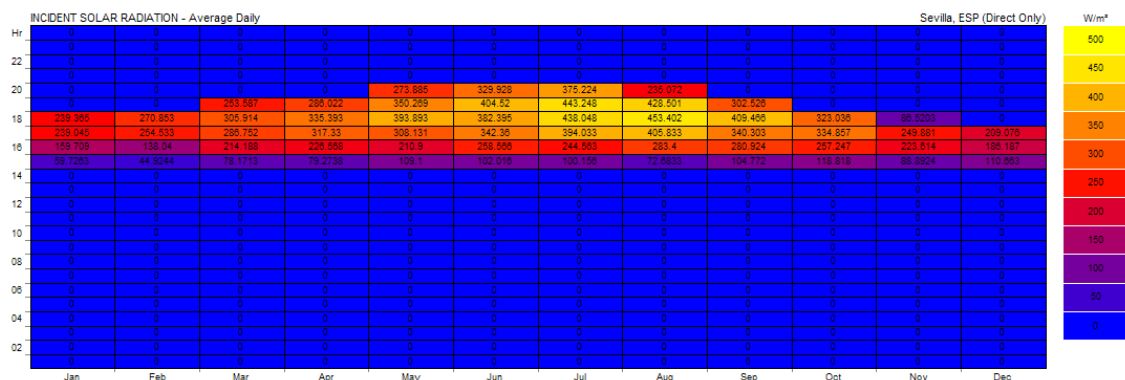


FIG. 13- Incidencia de radiación solar directa (Wh/m²) en ventana tipo con orientación Oeste.

Fuente: simulaciones con software Ecotect Analysis y datos del DOE de EEUU.

Al Oeste volvemos a tener una mayor presencia de radiación en los meses de verano, con valores superiores a 400 Wh/m² a las 17:00 y las 18:00h. Hasta las 14:00 horas no tendremos radiación directa en ningún momento del año.

NOROESTE

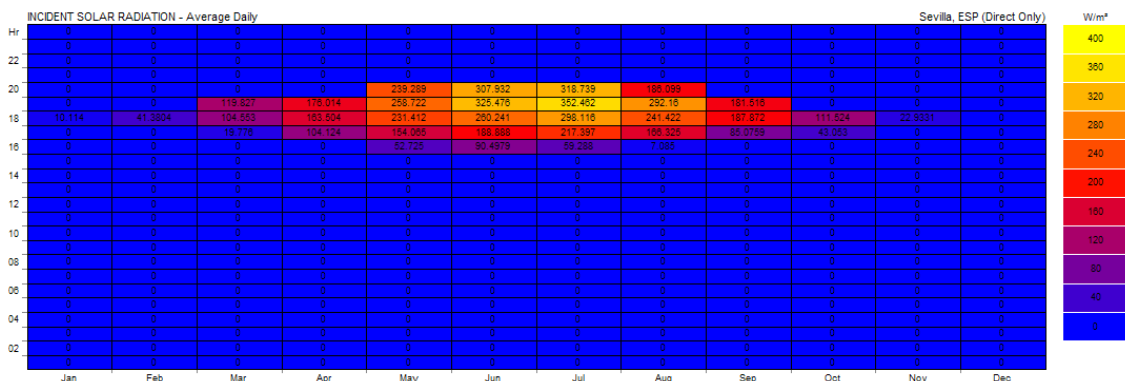


FIG. 14- Incidencia de radiación solar directa (Wh/m²) en ventana tipo con orientación Noroeste.

Fuente: simulaciones con software Ecotect Analysis y datos del DOE de EEUU.

Similar a lo que ocurre en la orientación Noreste, observamos una concentración de valores altos de radiación en los meses de verano, pero en este caso, durante las horas finales del día (llegando a superar los 350Wh/m² en Julio, a las 18:00h). No obstante, a partir de las 15:00h la radiación es nula, al igual que en el mayor tiempo de los meses de invierno.

5.4. VARIABLES DEL MODELO TEÓRICO

En cuanto a las variables que tendremos para el modelo del estudio son: las orientaciones, estaciones del año, tramo horario más desfavorable y tipología de protección solar a analizar.

- **Orientaciones**: Partiendo de las ocho orientaciones principales (Norte, Noreste, Este, Sureste, Sur, Suroeste, Oeste, Noroeste), haremos una criba quedándonos con las cinco orientaciones más desfavorables para estas latitudes: **Este, Sureste, Sur, Suroeste, Oeste**.
- **Estaciones**: Invierno, verano y estaciones intermedias. Los principales análisis serán anuales, teniendo algunos estudios centrados en las fechas de **verano**.
- **Tramo horario**: Como se ha indicado anteriormente, estudiaremos las situaciones en el tramo horario de mayor influencia solar: **11:00 – 18:00h**.
- **Tipología de protección solar**: En primer lugar estudiaremos las situaciones producidas en un **modelo base sin protección** para, posteriormente, analizarlo al equiparlo de cuatro sistemas diferentes: **Voladizo simple, pérgola con lamas a 45º, elemento vertical a la izquierda y elemento vertical a la derecha**.

6. ANÁLISIS DEL MODELO TEÓRICO

Para estudiar el funcionamiento de los elementos de protección necesitamos partir de un modelo base a el que implantaremos diferentes sistemas sombreadores y compararemos las mejoras obtenidas respecto al modelo de partida.

De este modo, el primer modelo con el que realizaremos la simulación será el Modelo base sin protección (1), que consiste en un módulo de fachada tipo de 2m x 3m con una ventana centrada de 1m x 1m dispuesta a un metro de altura respecto al suelo/forjado. Los diferentes tipos de sistemas con los que equiparemos a este primer modelo son los indicados en el apartado de variables:

- 2) Voladizo simple
- 3) Pérgola con lamas a 45°
- 4) Elemento vertical a la izquierda
- 5) Elemento vertical a la derecha

En este trabajo no se realizarán las simulaciones de un sistema mixto (voladizo + partesol a ambos lados) puesto que sería una sumatoria de los resultados obtenidos por cada elemento de protección. De esta forma, es evidente que el elemento mixto sería el más eficiente en cuanto a reducción de influencia solar se refiere.

6.1. MÉTODO DE CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS

El método que emplearemos para calcular las dimensiones de los sistemas sombreadores constará de dos fases:

En primer lugar obtendremos unas dimensiones utilizando los ángulos que Arias y Ávila (2004) proponen en la siguiente tabla, teniendo en cuenta que son referidos a latitud 20°N.

Orientación	Protección horizontal	Protección vertical Derecha	Protección vertical Izquierda
Norte	85°	-----	20°
Sur	60°	-----	-----
Este	50°	-----	-----
Oeste	80°	-----	110°
Noroeste	-----	-----	60°
Sureste	50°	-----	-----
Noreste	60°	-----	-----
Suroeste	20°	40°	----(Celosía)

Fig. 15: Tabla de ángulos para calcular la protección solar en latitud 20°N. Fuente: Arias y Ávila (2004), obtenido del TFM de Perla Zambrano Prado.

Posteriormente adaptaremos estos resultados a la latitud en la que estamos realizando el estudio (37,4° N). Para ello nos centramos en el día estadísticamente más caluroso del año, 21 de Julio, obteniendo los datos de posición solar y los ángulos de influencia sobre la ventana tipo.

Hora	Acimut (°)	Altitud (°)	Este		Sureste		Sur		Suroeste		Oeste	
			HSA(°)	VSA(°)	HSA(°)	VSA(°)	HSA(°)	VSA(°)	HSA(°)	VSA(°)	HSA(°)	VSA(°)
6:30	64.7°	1.3°	-25.3°	1.4°	-70.3°	3.8°	-115.3°	177.0°	-160.3°	178.6°	-154.7°	178.6°
7:00	69.1°	6.8°	-20.9°	7.2°	-65.9°	16.2°	-110.9°	161.6°	-155.9°	172.6°	-159.1°	172.8°
7:30	73.3°	12.4°	-16.7°	12.9°	-61.7°	24.8°	-106.7°	142.5°	-151.7°	166.0°	-163.3°	167.1°
8:00	77.5°	18.2°	-12.5°	18.6°	-57.5°	31.4°	-102.5°	123.4°	-147.5°	158.7°	-167.5°	161.4°
8:30	81.6°	24.0°	-8.4°	24.2°	-53.4°	36.8°	-98.4°	108.1°	-143.4°	151.0°	-171.6°	155.8°
9:00	85.9°	29.9°	-4.1°	30.0°	-49.1°	41.4°	-94.1°	97.1°	-139.1°	142.7°	-175.9°	150.0°
9:30	90.3°	35.9°	0.3°	35.9°	-44.7°	45.5°	-89.7°	89.6°	-134.7°	134.2°	-179.7°	144.1°
10:00	95.1°	41.8°	5.1°	42.0°	-39.9°	49.4°	-84.9°	84.4°	-129.9°	125.6°	-174.9°	138.0°
10:30	100.4°	47.7°	10.4°	48.2°	-34.6°	53.2°	-79.6°	80.7°	-124.6°	117.3°	-169.6°	131.8°
11:00	106.7°	53.5°	16.7°	54.7°	-28.3°	57.0°	-73.3°	78.0°	-118.3°	109.3°	-163.3°	125.3°
11:30	114.4°	59.1°	24.4°	61.4°	-20.6°	60.8°	-65.6°	76.1°	-110.6°	101.9°	-155.6°	118.6°
12:00	124.4°	64.3°	34.4°	68.4°	-10.6°	64.7°	-55.6°	74.8°	-100.6°	95.1°	-145.6°	111.6°
12:30	138.0°	68.8°	48.0°	75.5°	3.0°	68.8°	-42.0°	73.9°	-87.0°	88.8°	-132.0°	104.5°
13:00	156.8°	72.0°	66.8°	82.7°	21.8°	73.3°	-23.2°	73.4°	-68.2°	83.2°	-113.2°	97.3°
13:30	179.9°	73.3°	90.1°	90.0°	45.1°	78.0°	0.1°	73.3°	-44.9°	78.0°	-89.9°	90.0°
14:00	-156.6°	72.0°	113.4°	97.3°	68.4°	83.2°	23.4°	73.4°	-21.6°	73.2°	-66.6°	82.7°
14:30	-137.9°	68.8°	132.1°	104.6°	87.1°	88.9°	42.1°	73.9°	-2.9°	68.8°	-47.9°	75.4°
15:00	-124.3°	64.3°	145.7°	111.7°	100.7°	95.1°	55.7°	74.8°	10.7°	64.7°	-34.3°	68.3°
15:30	-114.3°	59.1°	155.7°	118.6°	110.7°	101.9°	65.7°	76.1°	20.7°	60.7°	-24.3°	61.4°
16:00	-106.6°	53.5°	163.4°	125.3°	118.4°	109.4°	73.4°	78.0°	28.4°	56.9°	-16.6°	54.7°
16:30	-100.4°	47.7°	169.6°	131.8°	124.6°	117.3°	79.6°	80.7°	34.6°	53.2°	-10.4°	48.2°
17:00	-95.0°	41.8°	175.0°	138.1°	130.0°	125.7°	85.0°	84.4°	40.0°	49.4°	-5.0°	41.9°
17:30	-89.7°	35.8°	179.7°	144.2°	135.3°	134.5°	90.3°	90.4°	45.3°	45.7°	0.3°	35.8°
18:00	-85.8°	29.9°	175.8°	150.0°	139.2°	142.8°	94.2°	97.2°	49.2°	41.3°	4.2°	30.0°
18:30	-81.6°	24.0°	171.6°	155.8°	143.4°	151.0°	98.4°	108.2°	53.4°	36.7°	8.4°	24.2°
19:00	-77.5°	18.1°	167.5°	161.5°	147.5°	158.8°	102.5°	123.6°	57.5°	31.4°	12.5°	18.5°
19:30	-73.3°	12.4°	163.3°	167.1°	151.7°	166.0°	106.7°	142.7°	61.7°	24.8°	16.7°	12.9°
20:00	-69.1°	6.7°	159.1°	172.8°	155.9°	172.7°	110.9°	161.8°	65.9°	16.1°	20.9°	7.2°
20:30	-64.7°	1.2°	154.7°	178.6°	160.3°	178.7°	115.3°	177.1°	70.3°	3.7°	25.3°	1.4°

Horas en las que el sol no incide sobre la fachada
HSA Ángulo horizontal entre el sol y la fachada
VSA Ángulo vertical entre el sol y la fachada

Fig. 16: Tabla de posición solar y ángulos de influencia sobre la ventana tipo en orientaciones E, SE, S, SO y O. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

En situaciones puntuales, como protecciones verticales en orientación sur, Arias y Ávila no proponen ángulos ya que no tienen mucha eficacia. En nuestro caso plantearemos una solución a sabiendas de que no será muy efectivo. Los datos obtenidos mediante ambos cálculos serán comparados, comprobando si se han logrado optimizar los elementos.

6.2. SIMULACIONES

Estructuraremos este punto en función de las orientaciones en las que vamos a trabajar, con el fin de obtener el sistema de sombreado más eficiente para cada una y, posteriormente, valorar qué sistema se adapta mejor a cualquiera de ellas.

El primer paso que realizaremos es calcular las dimensiones de los elementos de protección, como ya se ha explicado en el punto anterior.

Seguidamente, un estudio de sombras, que pasará por obtener las cartas solares, con la máscara de sombra, y un estudio de la evolución de la sombra proyectada sobre la fachada por cada elemento a lo largo del año, entre las 11:00 y las 18:00h.


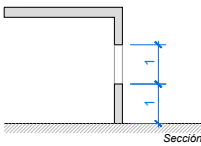
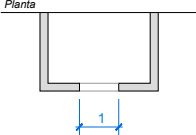

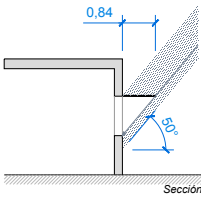
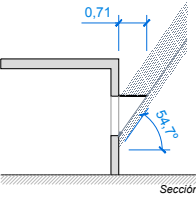

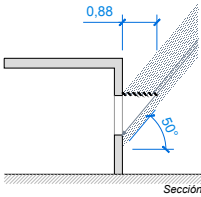
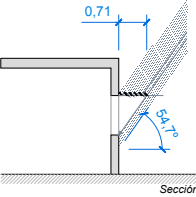


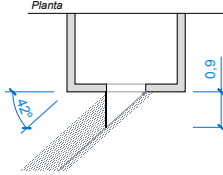
El tercer paso consiste en obtener gráficamente los valores normales de radiación solar directa que tendríamos sobre cada punto de la fachada los momentos críticos.

Posteriormente compararemos, por cada sistema, los datos de radiación sobre la ventana con la temperatura exterior y los porcentajes de sombra.

Finalmente se volcarán unas tablas y gráficas de resultados a modo de resumen para realizar una comparación directa entre los cuatro elementos, pudiendo determinar de una forma más intuitiva los beneficios de unos modelos sobre otros.

6.2.1. ORIENTACIÓN ESTE

A) *Cálculo de las dimensiones de los elementos:*

	Tabla de Arias y Ávila (20°N)	Adaptación a latitud 37°N
 SIN PROTECCIÓN		
 VOLADIZO		
 Lamas 45°		
 PROTECCIÓN VERTICAL DERECHO	— *	— **
 PROTECCIÓN VERTICAL IZQUIERDA	— *	

* Arias y Ávila no proponen ángulos ya que no tienen mucha eficacia. En nuestro caso plantearemos una solución: teniendo en cuenta que en las horas más desfavorables tenemos un ángulo de prácticamente 0º, tendremos que irnos a una hora en la que el ángulo de influencia horizontal no sea mayor de 45º, ya que no tiene sentido que el elemento de protección sea mayor que el hueco a proteger.

**No es necesaria dicha protección ya que, en esta orientación, no recibe radiación directa proveniente de dicha dirección de estudio, en el tramo horario de 11:00 a 18:00h.

***No se realizarán simulaciones de este modelo por sobredimensionado excesivo.

B) *Estudio de las sombras:*

- Carta solar estereográfica con máscara de sombras

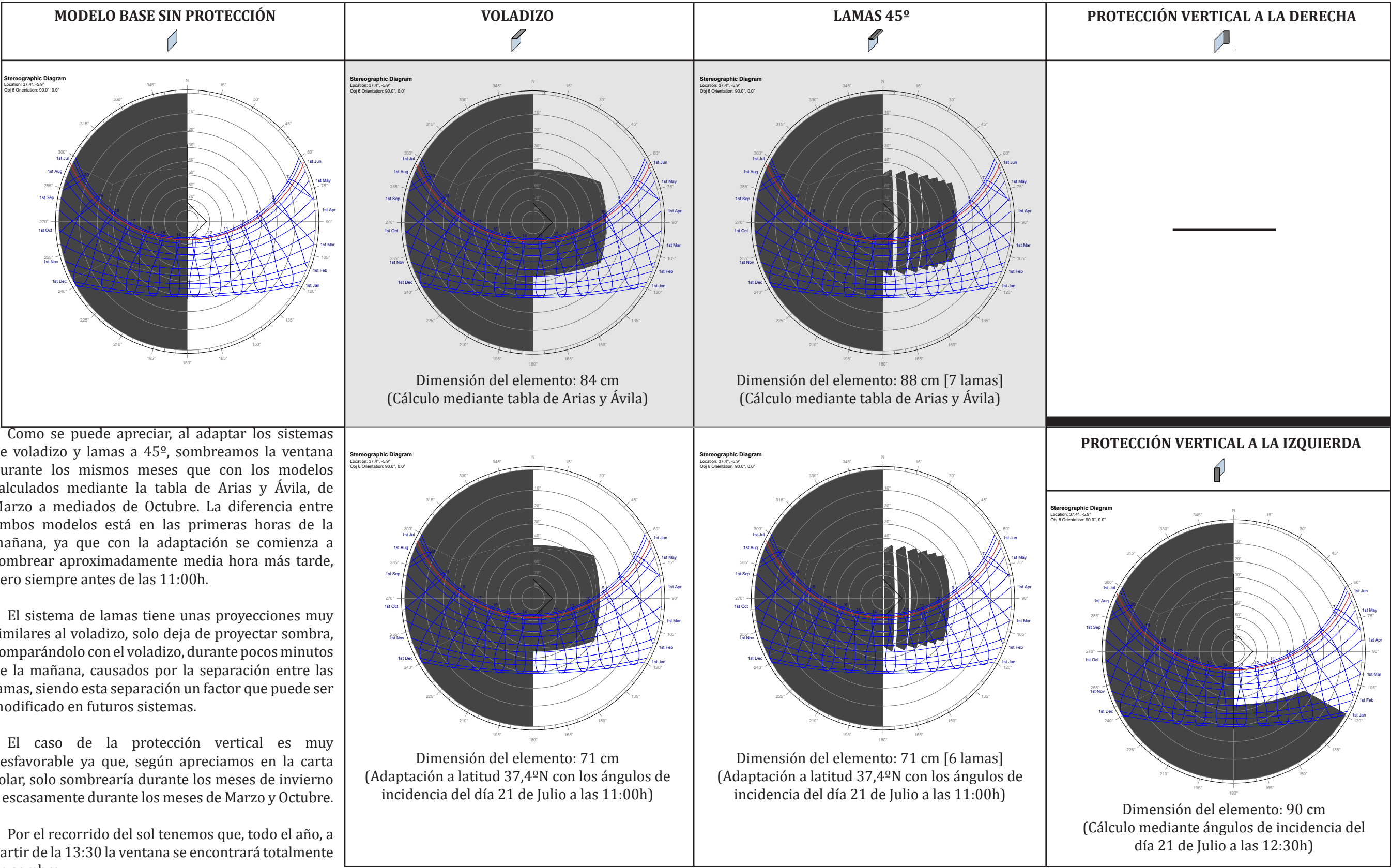


Fig. 17: Tabla comparativa de las cartas solares estereográficas de los diferentes modelos simulados. Con una línea roja se indica el día 21 de Julio, estadísticamente más caluroso. Aparecen en un recuadro sombreado de gris las cartas solares de los modelos obtenidos mediante los cálculos propuestos por Arias y Ávila. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

- **Proyección de sombra sobre la fachada**

Mostramos la evolución de la sombra que arroja cada elemento sobre la fachada a lo largo del año, en el tramo horario estudiado. Se han realizado las simulaciones en los tres días en los que podemos resumir el movimiento solar al cabo de un año: solsticio de invierno (21 de Diciembre), equinoccios (21 de Marzo y 21 de Septiembre) y solsticio de verano (21 de Junio).


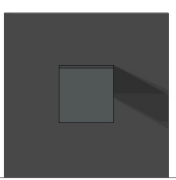
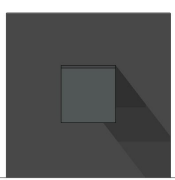
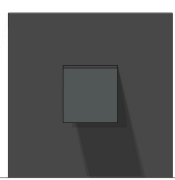

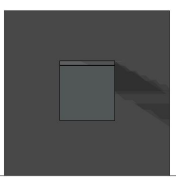
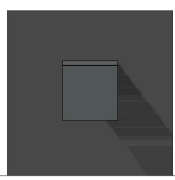
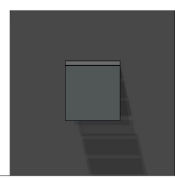





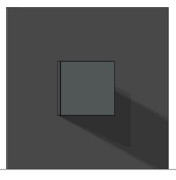
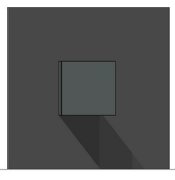
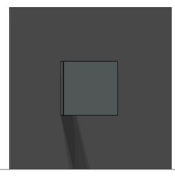
	Solsticio de invierno 21 de Diciembre	Equinoccios 21 de Marz., 21 de Sept.	Solsticio de verano 21 de Junio
 VOLADIZO			
 Lamas 45°			
 PROTECCIÓN VERTICAL DERECHO			
 PROTECCIÓN VERTICAL IZQUIERDA			

Fig. 18: Tabla comparativa de las sombras proyectadas por los diferentes elementos sombreadores de estudio durante los solsticios y equinoccios, entre las 11:00h y las 18:00h. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

C) *Exposición a la radiación solar:*

Se realizará un estudio de la radiación solar directa que incide sobre la fachada en los meses de verano (del 1 de Junio al 31 de Agosto), entre las 11:00h y las 18:00h, para obtener así un primera impresión del funcionamiento de los elementos estudiados.

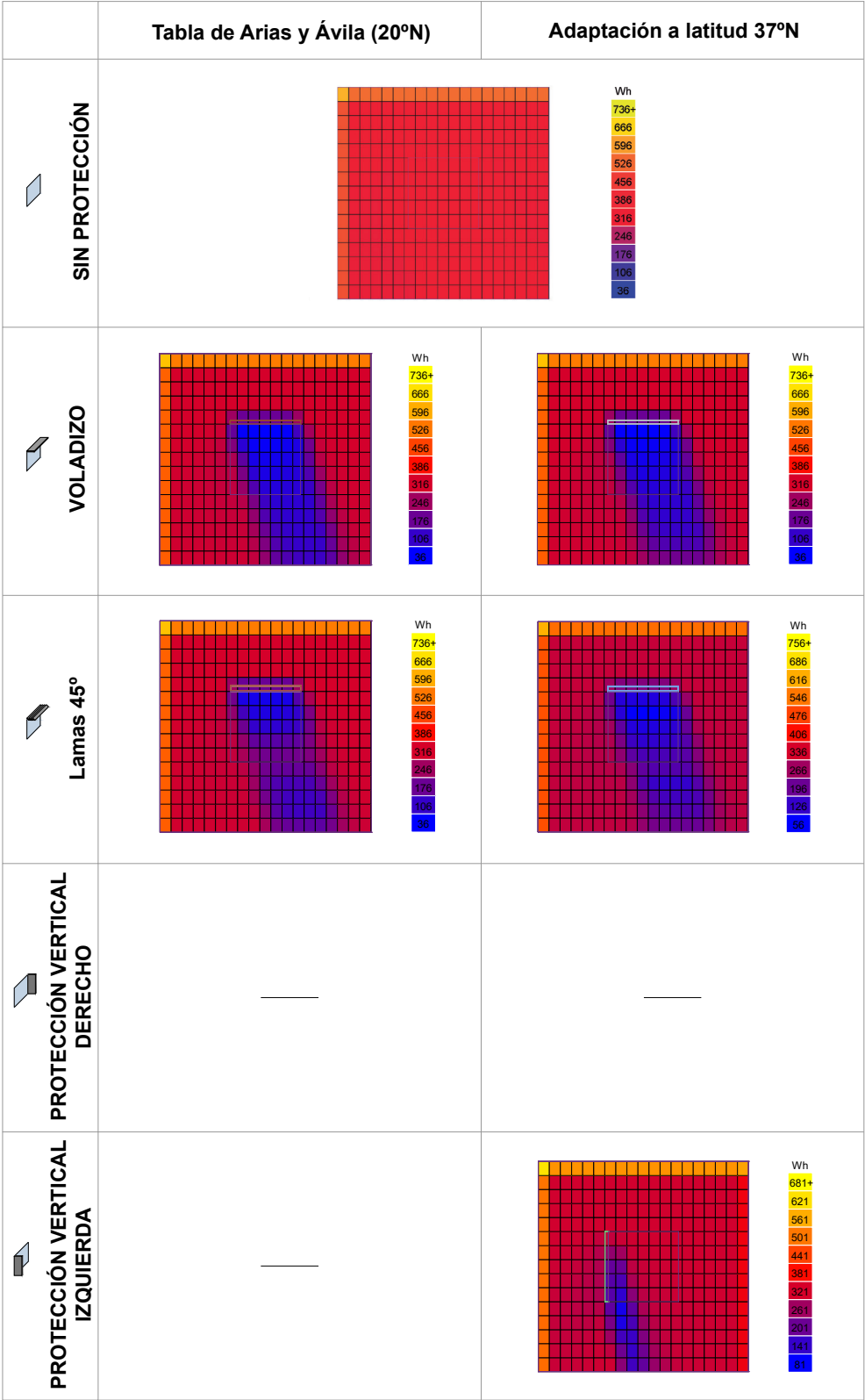


Fig. 19: Tabla comparativa de la radiación directa sobre fachada del 01Jn. al 31Ag., entre las 11:00h y las 18:00h. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Observamos que la radiación percibida por la ventana con los modelos con diferentes dimensiones de voladizo y lamas a 45° es prácticamente idéntica, la incidencia aumenta en el resto de la fachada en los modelos adaptados, respecto a los calculados mediante los ángulos dados por Arias y Ávila.

Por lo tanto, el análisis de la incidencia normal de radiación solar a lo largo del año sobre la ventana tipo lo haremos directamente sobre el modelo adaptado.

Se puede observar como los elementos horizontales serán, a priori, más eficaces que los verticales.

D) Evaluación Radiación solar - Temperatura actual - Sombreamiento:

Con este análisis observaremos la relación directa que tendremos entre la radiación solar directa sobre la ventana (Wh/m²), las temperaturas exteriores (°C) y el porcentaje de sombra (%). Se realizará teniendo las tres tablas consecutivas, por cada modelo, para poder realizar una rápida comparación entre ellas.

Esto nos ayudará a comprender y verificar si el elemento sombreador está siendo eficiente o no, dependiendo de si proyecta una sombra adecuada durante las horas más calurosas de cada mes y evita una radiación solar suficiente.

Para ello establecemos una temperatura de 26°C, por encima de la cual debemos tener protección solar para evitar mayor aporte energético.

El porcentaje de sombreamiento que tomaremos como “eficiente” dependerá de la radiación solar que se perciba en ese momento en el modelo que se esté estudiando, teniendo en cuenta la protección. Por ejemplo, en una situación de 60Wh/m² y temperatura exterior de 28°C, se aceptaría un porcentaje de sombra inferior al 20% ya que dicho valor de radiación ya se consideraría suficientemente bajo, dado que afectaría en muy pequeña medida al aumento de la temperatura interior.

Todos los datos estarán centrados en las seis horas de mayor influencia solar y mayor temperatura simultáneamente, de 11:00h a 18:00h. Las tablas están obtenidas mediante el software Ecotect.

MODELO 1. SIN PROTECCIÓN

Radiación solar directa (Wh/m²)

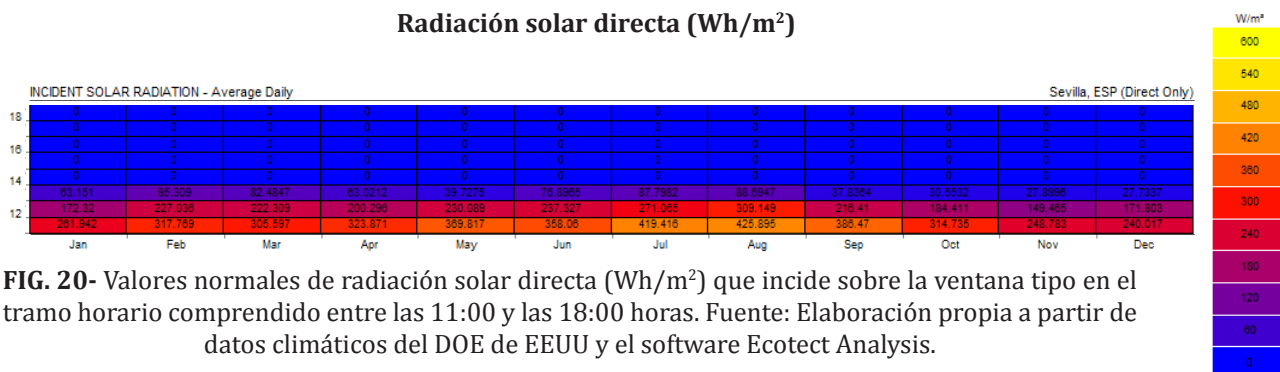


FIG. 20- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 21- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)

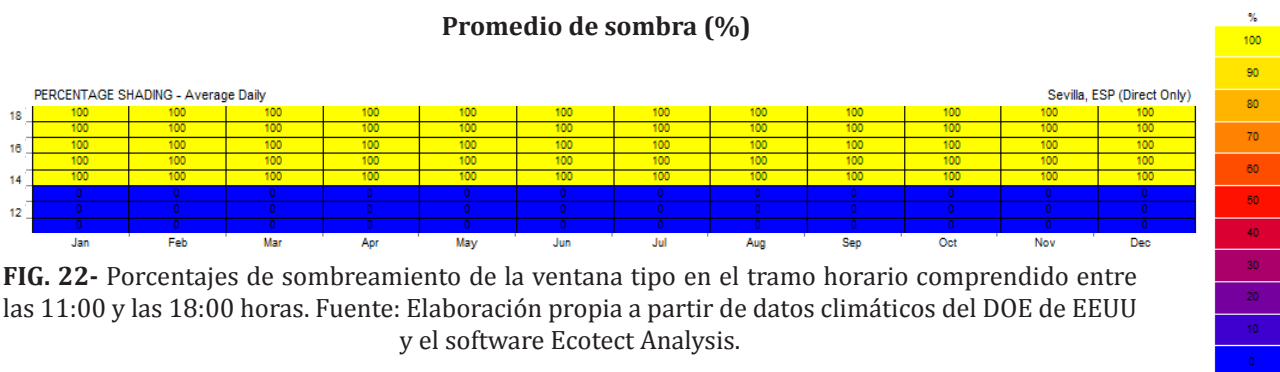


FIG. 22- Porcentajes de sombreadamiento de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

En el modelo base, y para esta orientación, observamos que el hueco quedará en sombra a partir de las 13:00h, debido al recorrido solar. Obteniendo así un promedio del 100% de sombra.

De esta forma se evita radiación directa durante las horas con mayor temperatura exterior. Aun así tendremos valores importantes de radiación (de 350 a 425 Wh/m²) de 11:00 a 13:00h. Por lo tanto, estas horas deben de contar con un porcentaje de sombra adecuado para evitar estos valores de radiación tan elevados. Comprobaremos si estos son o no adecuados con los sistemas de protección estudiados.

MODELO 2. VOLADIZO

Radiación solar directa (Wh/m²)

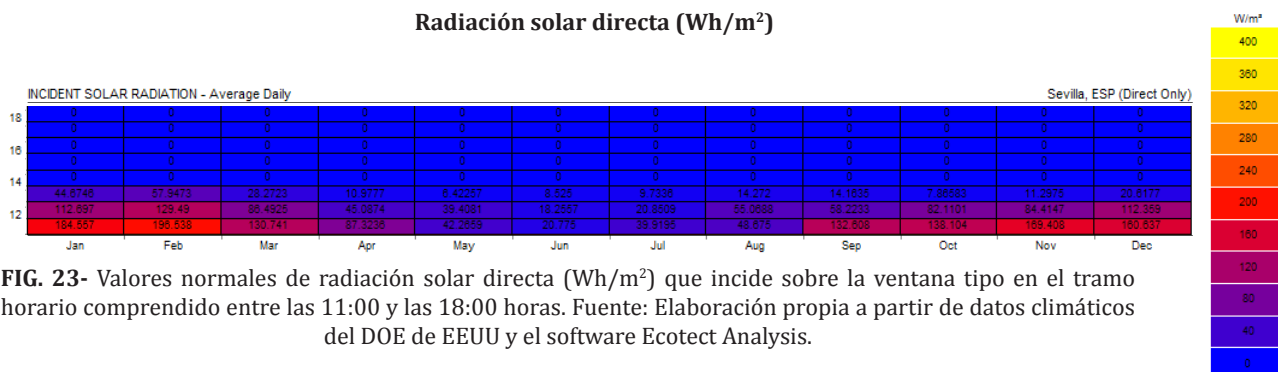


FIG. 23- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 24- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)

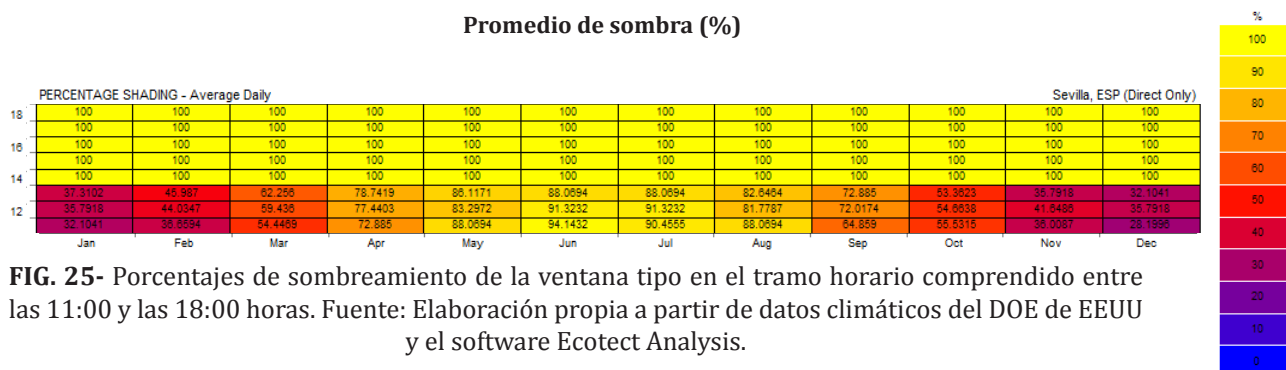


FIG. 25- Porcentajes de sombreamiento de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Con el sistema de voladizo se logra un sombreamiento muy efectivo en esta orientación, reduciendo los valores de radiación a menos de 55 Wh/m², durante los meses de verano. Por lo que se protege el hueco durante la mayoría de las horas en las que se alcanzan temperaturas exteriores elevadas, y que en el modelo base aparecían con valores muy altos de radiación.

MODELO 3. PÉRGOLA CON LAMAS A 45º

Radiación solar directa (Wh/m²)

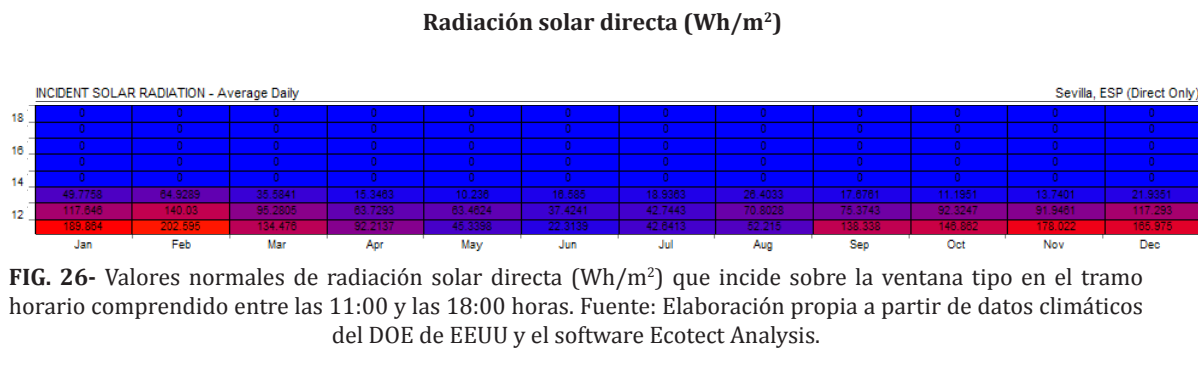


FIG. 26- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 27- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)

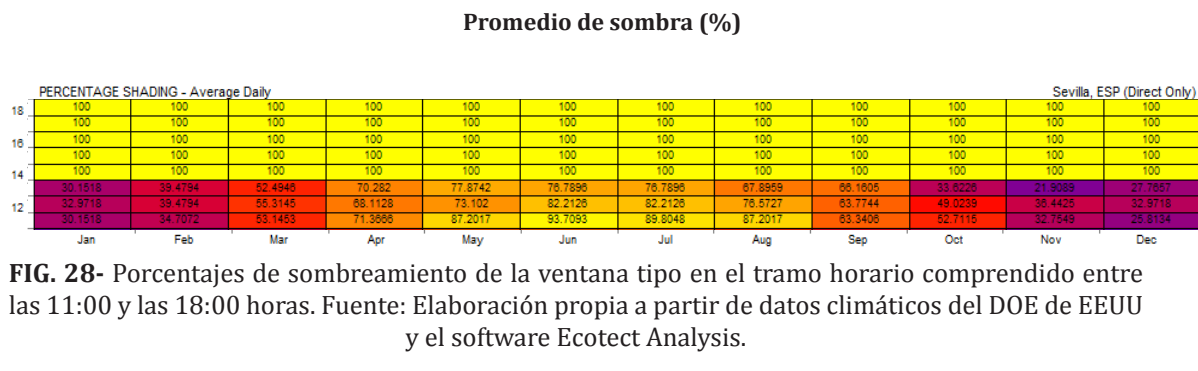


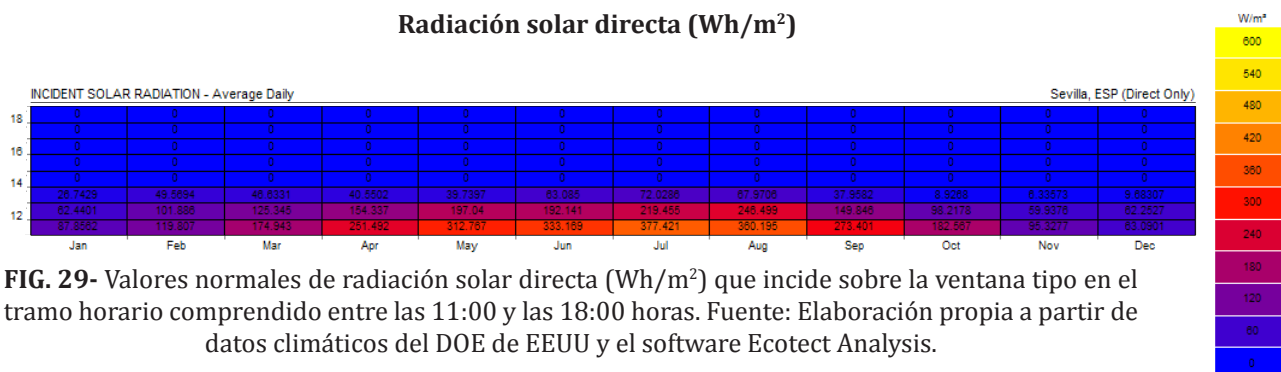
FIG. 28- Porcentajes de sombreamiento de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Con valores de sombra muy similares a los obtenidos con el modelo de voladizo, obtenemos prácticamente el mismo resultado: la radiación solar disminuye hasta valores máximos de 70 Wh/m2 en los meses de verano.

La ventana permanece protegida durante la mayor parte de las horas en las que se alcanzan temperaturas exteriores elevadas, y que en el modelo base aparecían con valores muy altos de radiación.

MODELO 5. PROTECCIÓN VERTICAL A LA IZQUIERDA

Radiación solar directa (Wh/m²)



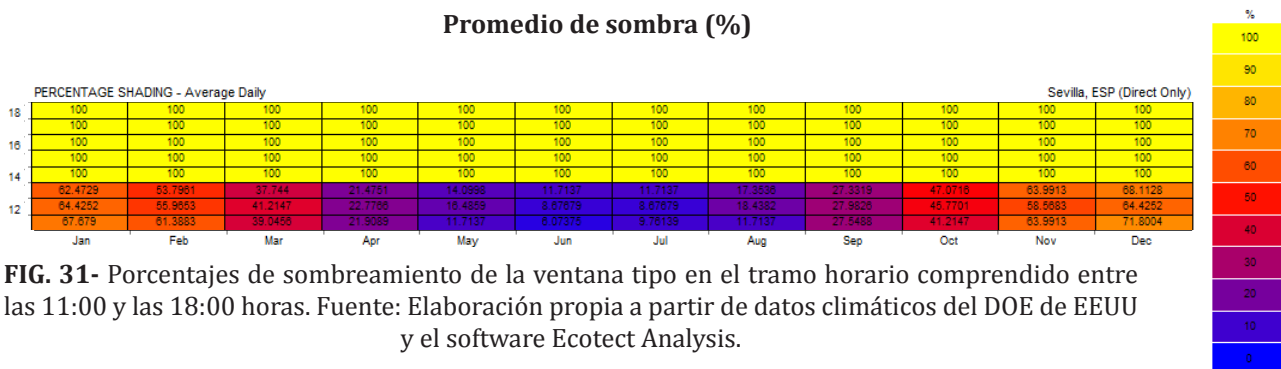
Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 30- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)



Observamos que este sistema arroja porcentajes de sombra insuficientes en los meses de verano, comprendidos entre 6 y 18% de sombreadamiento. Como consecuencia obtenemos valores de radiación muy elevados, hasta 377 Wh/m², en momentos con temperaturas exteriores muy altas. Por lo tanto, podemos decir que **este sistema es INEFICIENTE en orientación Este**.

E) Resumen de resultados:

A continuación se muestran unas tablas comparativas, entre los diferentes modelos de estudio. Por un lado tendremos la comparación de radiación mensual (en Wh/m²) que incide en la ventana tipo, y por otro lado, se compara el promedio de sombreamiento sobre la ventana en cada modelo.

Radiación directa sobre ventana tipo (Wh/m ²)					
Mes	Sin protección	Voladizo	Lamas 45º	Vertical derecha	Vertical izquierda
Jan	1066	839	861	-	441
Feb	1308	911	941	-	678
Mar	1645	1026	1050	-	1168
Apr	1824	991	1021	-	1591
May	2203	1067	1102	-	2079
Jun	2438	1116	1153	-	2321
Jul	2615	1190	1232	-	2467
Aug	2672	1315	1355	-	2452
Sep	1972	1105	1135	-	1604
Oct	1728	1122	1149	-	1134
Nov	1147	866	896	-	520
Dec	937	726	744	-	363
Verano	2575	1207	1247	-	2413

Fig. 32: Tabla comparativa de los valores diarios de incidencia de radiación solar directa sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección. Con un recuadro rojo se limitan los meses de verano. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Promedio de Sombra					
Mes	Sin protección	Voladizo	Lamas 45º	Vertical derecha	Vertical izquierda
Jan	44%	59%	58%	-	78%
Feb	44%	63%	61%	-	72%
Mar	45%	68%	66%	-	62%
Apr	42%	70%	68%	-	49%
May	46%	77%	75%	-	50%
Jun	46%	79%	77%	-	48%
Jul	46%	78%	76%	-	49%
Aug	46%	75%	74%	-	51%
Sep	45%	73%	72%	-	57%
Oct	40%	64%	61%	-	62%
Nov	44%	61%	58%	-	77%
Dec	38%	53%	51%	-	77%

Fig. 33: Tabla comparativa de los porcentajes de sombreamiento diario sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección. Con un recuadro rojo se limitan los meses de verano. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Al comparar estas tablas conjuntamente se comprueba la eficiencia de los elementos sombreadores, ya que se ve claramente la relación que existe entre el porcentaje de sombra emitido por cada elemento de protección y la disminución de radiación directa que tendremos. Pudiendo relacionar y comparando los diferentes sistemas.

Vemos que, en los meses de verano (Junio, Julio y Agosto), el voladizo es la protección que proporciona mayor cantidad de sombra, reduciendo la radiación del mes de Julio en más de 1400 Wh/m², respecto al modelo sin protección. Las lamas resultan prácticamente igual de eficientes, evitando unos 42 Wh/m² menos en el mismo mes.

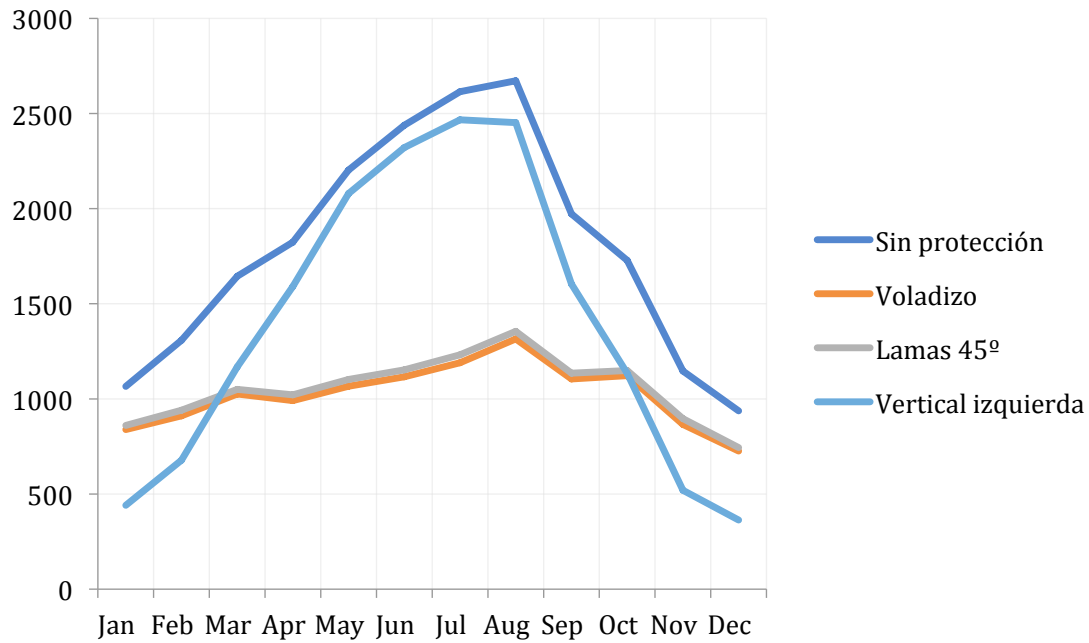


Fig. 34: Gráfica comparativa de los valores diarios de incidencia de radiación solar directa sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

En esta gráfica se observa que los valores recogidos en verano, en el caso de la protección vertical son prácticamente iguales al modelo sin protección, por lo que resultan ineficaces para la orientación Sur. En los meses de invierno se observa una mayor protección con estos elementos, evitando más del doble de radiación que los modelos horizontales. Esto hace que el sistema sea menos eficiente aun.

En los meses de Mayo a Septiembre se observa una clara ventaja de los modelos con elementos horizontales, como ya se venía observando en las demás comparaciones previas.

En la siguiente tabla se indica la radiación normal que incide en la ventana durante los meses de verano, incluyendo el porcentaje que disminuye en cada caso, respecto del modelo sin protección. Posteriormente, mostramos los valores gráficamente para tener una comparación más directa.

	Sin protección	Voladizo	Lamas 45°	Vertical derecha	Vertical izquierda
Radiación en verano (Wh/m²)	2575	1207	1247	-	2413
Disminución de la radiación	0%	53%	52%	-	6%

Fig. 35: Tabla comparativa de los valores de radiación directa media diaria, en verano, sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección y disminución de esta respecto al modelo sin protección. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

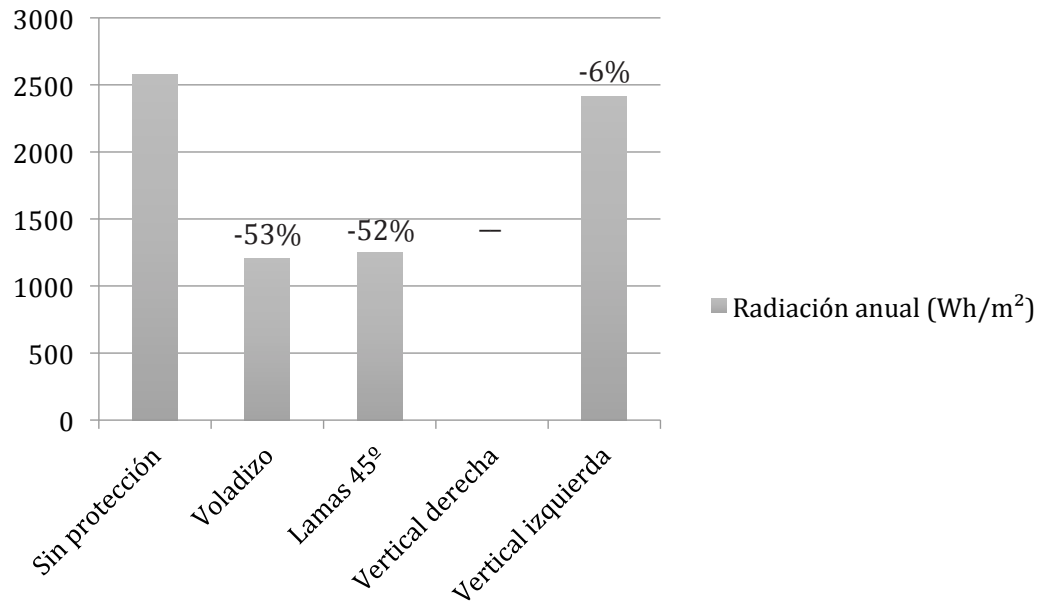

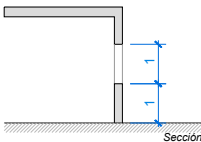
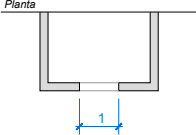

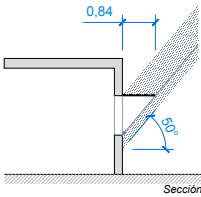
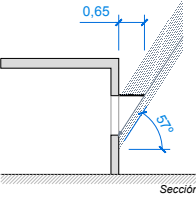

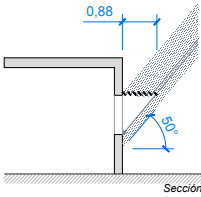
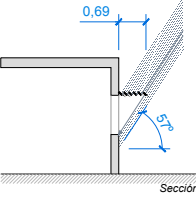


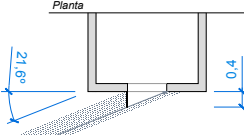


Fig. 36: Gráfica comparativa de los valores de radiación directa media diaria, en verano, sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección y disminución de esta respecto al modelo sin protección. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Tras analizar la gráfica, observamos que los modelos con protección horizontal tienen una efectividad, en cuanto a reducción de la radiación directa en los meses de verano, muy superior al modelo con protección vertical. Mientras que los modelos de voladizo y lamas a 45° reducen los valores en un 53 y 52%, respectivamente, el elemento vertical colocado a la izquierda tan solo llega a reducir en un 6% la radiación por horas.

6.2.2. ORIENTACIÓN SURESTE

A) *Cálculo de las dimensiones de los elementos:*

	Tabla de Arias y Ávila (20°N)	Adaptación a latitud 37°N
 SIN PROTECCIÓN		
 VOLADIZO		
 Lamas 45°		
 PROTECCIÓN VERTICAL DERECHO	— *	— **
 PROTECCIÓN VERTICAL IZQUIERDA	— *	

* Arias y Ávila no proponen ángulos ya que no tienen mucha eficacia. En nuestro caso plantearemos una solución: teniendo en cuenta que en las horas más desfavorables tenemos un ángulo de prácticamente 0°, tendremos que irnos a una hora en la que el ángulo de influencia horizontal no sea mayor de 45°, ya que no tiene sentido que el elemento de protección sea mayor que el hueco a proteger.

**No es necesaria dicha protección ya que, en esta orientación, no recibe radiación directa proveniente de dicha dirección de estudio, en el tramo horario de 11:00 a 18:00h.

***No se realizarán simulaciones de este modelo por sobredimensionado excesivo.

B) *Estudio de las sombras:*

- Carta solar estereográfica con máscara de sombras

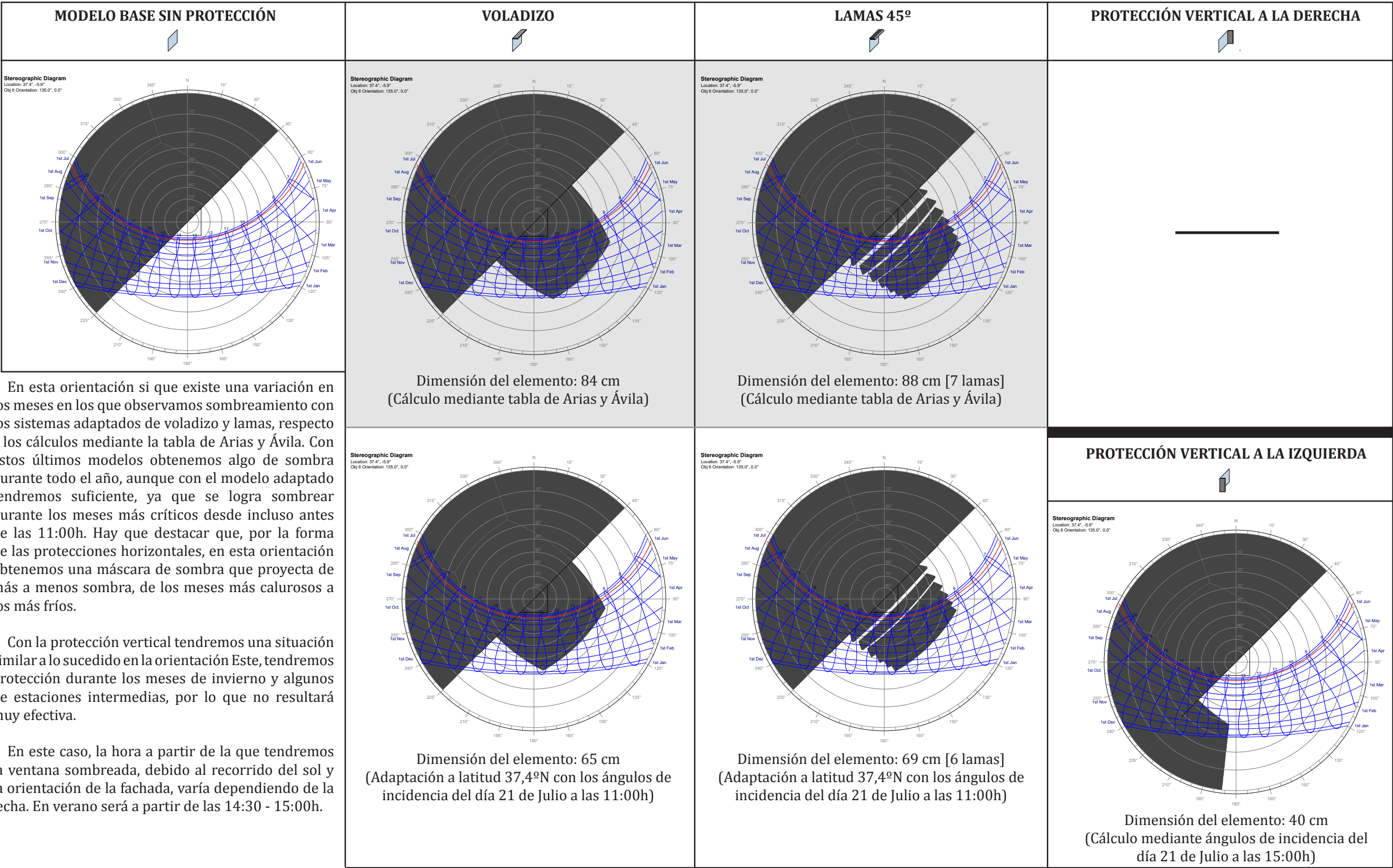


Fig. 37: Tabla comparativa de las cartas solares estereográficas de los diferentes modelos simulados. Con una línea roja se indica el día 21 de Julio, estadísticamente más caluroso. Aparecen en un recuadro sombreado de gris las cartas solares de los modelos obtenidos mediante los cálculos propuestos por Arias y Ávila. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

- **Proyección de sombra sobre la fachada**

Se estudia la evolución del sombreadamiento que produce cada sistema de protección solar a lo largo del año, entre las 11:00 y las 18:00h. Se tendrán en cuenta los tres días que marcan el recorrido solar en un año: solsticio de invierno (21 de Diciembre), equinoccios (21 de Marzo y 21 de Septiembre) y solsticio de verano (21 de Junio).


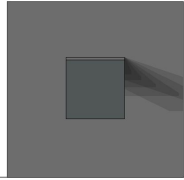
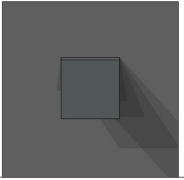
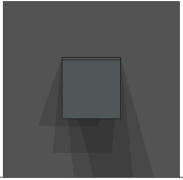

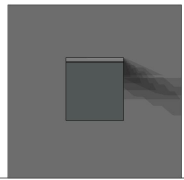
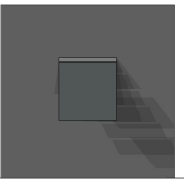
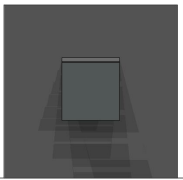





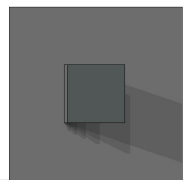
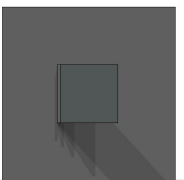
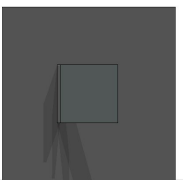
	Solsticio de invierno 21 de Diciembre	Equinoccios 21 de Marz., 21 de Sept.	Solsticio de verano 21 de Junio
 VOLADIZO			
 Lamas 45°			
 PROTECCIÓN VERTICAL DERECHO			
 PROTECCIÓN VERTICAL IZQUIERDA			

Fig. 38: Tabla comparativa de las sombras proyectadas por los diferentes elementos sombreadores de estudio durante los solsticios y equinoccios, entre las 11:00h y las 18:00h. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

C) Exposición a la radiación solar:

Se va analizar la radiación solar directa percibida por la fachada en los meses de verano, entre las 11:00h y las 18:00h, para obtener así un primer acercamiento a la efectividad, o no, de estos elementos de sombra.

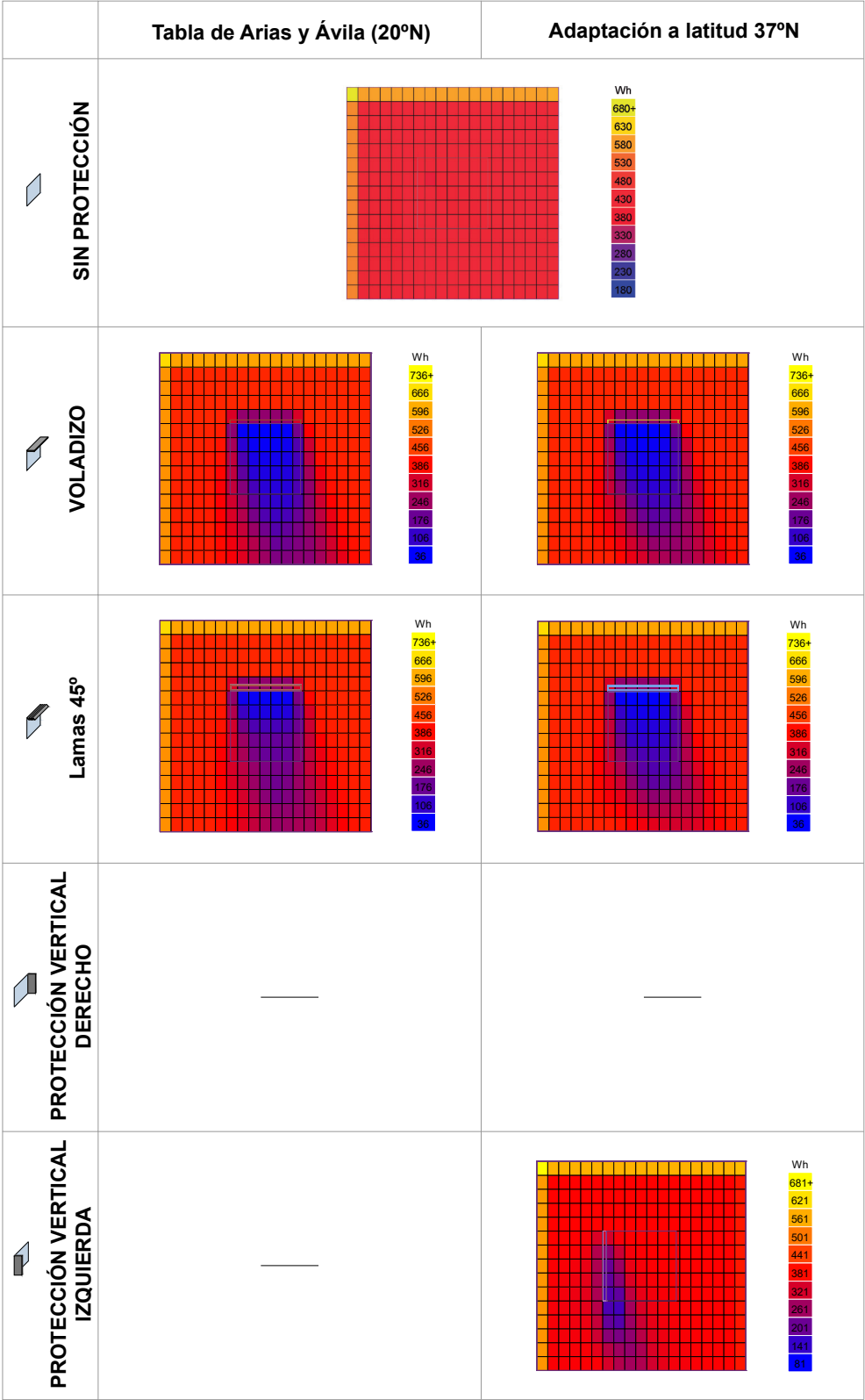


Fig. 39: Tabla comparativa de la radiación directa sobre fachada del 01Jn. al 31Ag., entre las 11:00h y las 18:00h. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Sacamos que la diferencia de radiación obtenida con los sistemas con diferentes dimensiones, en los modelos de voladizo y lamas a 45°, no se observará en la ventana, la incidencia aumenta en el resto de la fachada con los modelos adaptados, respecto a los calculados mediante los ángulos dados por Arias y Ávila.

Sabiendo esto, el análisis de la incidencia normal de radiación solar a lo largo del año sobre la ventana tipo lo haremos directamente sobre el modelo adaptado.

D) Evaluación Radiación solar - Temperatura actual - Sombreamiento:

Con este análisis observaremos la relación directa que tendremos entre la radiación solar directa sobre la ventana (Wh/m²), las temperaturas exteriores (°C) y el porcentaje de sombra (%). Se realizará teniendo las tres tablas consecutivas, por cada modelo, para poder realizar una rápida comparación entre ellas.

Esto nos ayudará a comprender y verificar si el elemento sombreador está siendo eficiente o no, dependiendo de si proyecta una sombra adecuada durante las horas más calurosas de cada mes y evita una radiación solar suficiente.

La forma de proceder será igual que en la orientación anterior.

MODELO 1. SIN PROTECCIÓN

Radiación solar directa (Wh/m²)

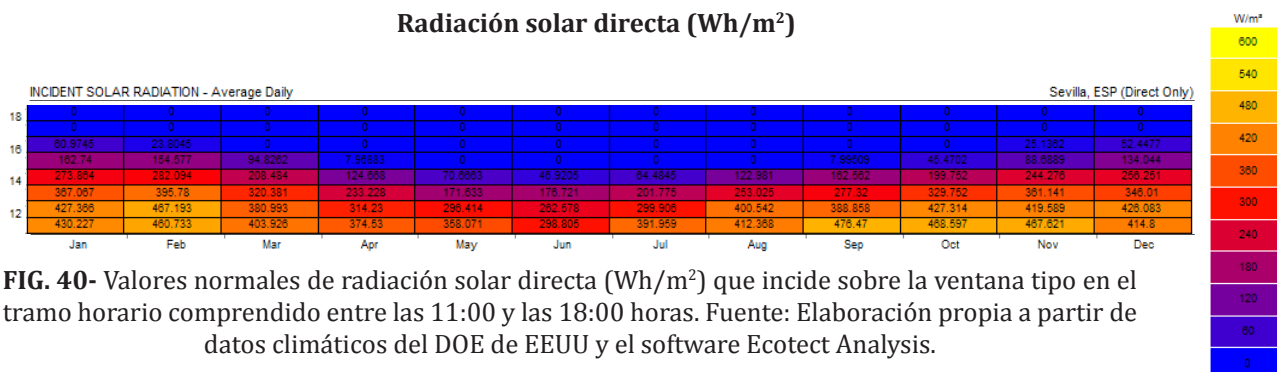


FIG. 40- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 41- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)

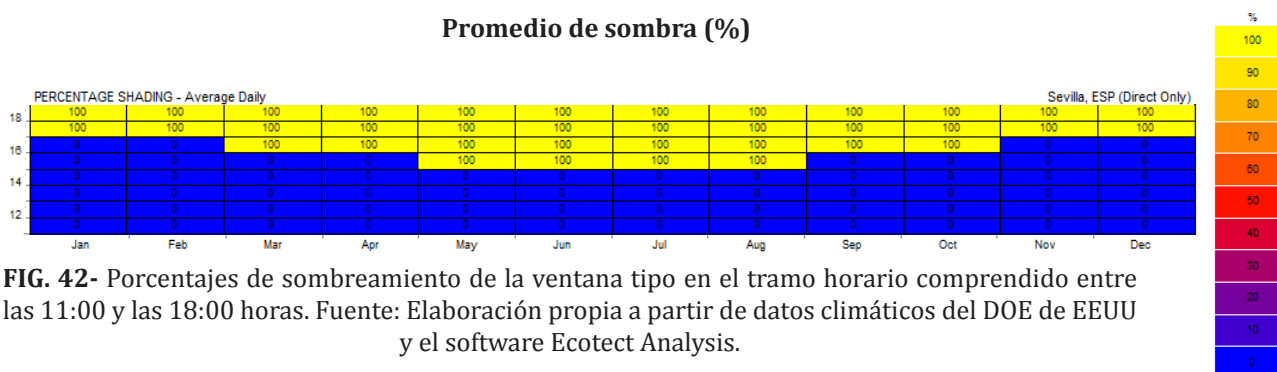


FIG. 42- Porcentajes de sombreadamiento de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

En el modelo base, y para esta orientación, observamos que el hueco quedará en sombra total a partir de las 14:00h, debido al recorrido solar, con 100% de sombra.

De esta forma se evita radiación directa durante las horas con mayor temperatura exterior. Aun así tendremos valores importantes de radiación (de 176 a 412 Wh/m²) de 11:00 a 14:00h. Por lo tanto, estas horas deben de contar con un porcentaje de sombra adecuado para evitar estos valores de radiación tan elevados. Comprobaremos si estos son o no adecuados con los sistemas de protección estudiados.

MODELO 2. VOLADIZO

Radiación solar directa (Wh/m²)

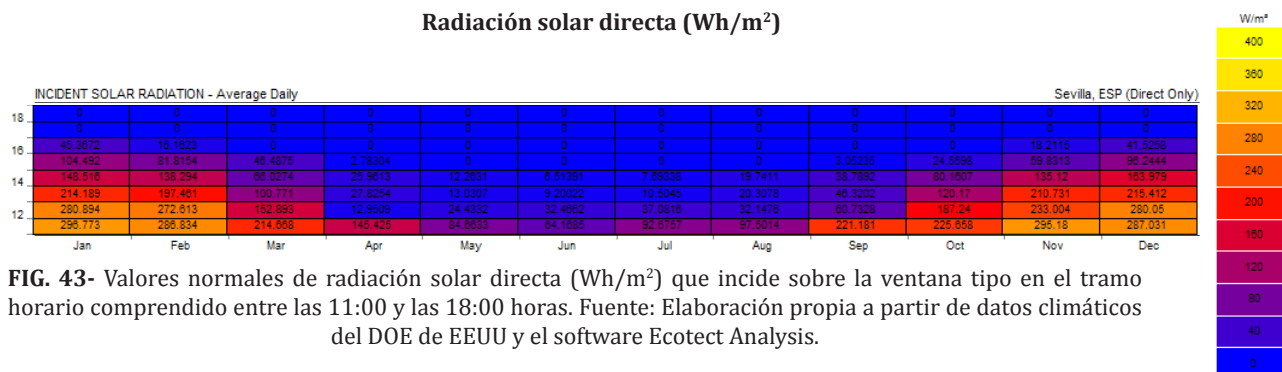


FIG. 43- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 44- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)

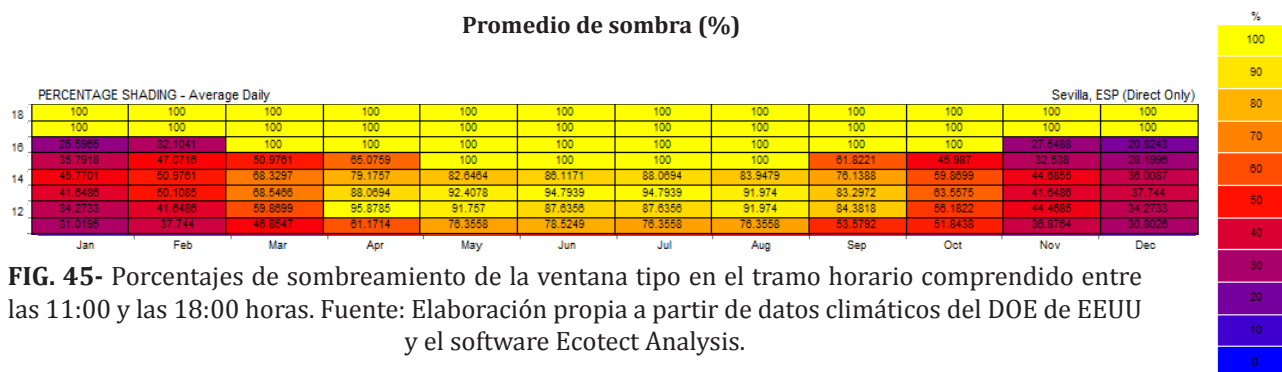


FIG. 45- Porcentajes de sombreadamiento de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Con el sistema de voladizo se logra un sombreadamiento eficiente en esta orientación, reduciendo los valores de radiación a menos de 100 Wh/m², durante los meses de verano. Por lo que se protege el hueco adecuadamente durante la mayoría de las horas en las que se alcanzan temperaturas exteriores elevadas, y que en el modelo base aparecían con valores muy altos de radiación.

MODELO 3. PÉRGOLA CON LAMAS A 45º

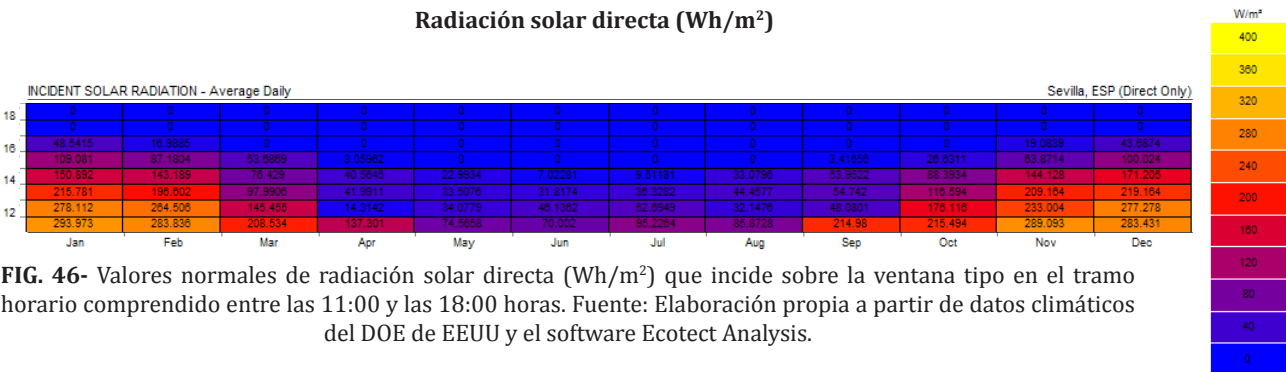


FIG. 46- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 47- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

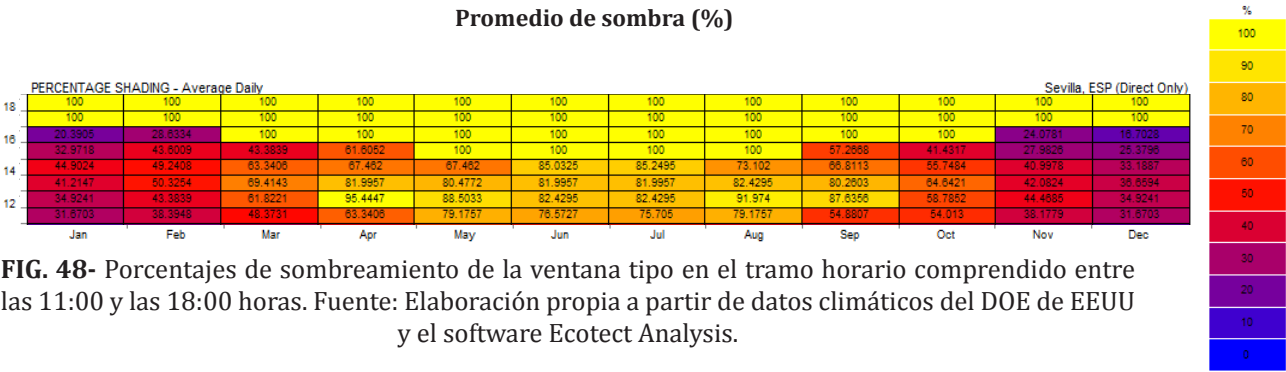


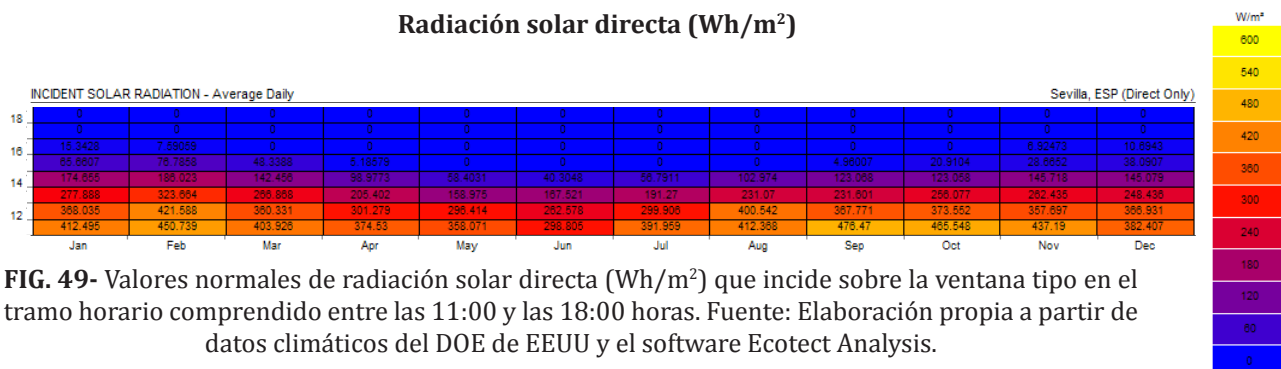
FIG. 48- Porcentajes de sombreadamiento de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Obtenemos valores de sombra muy similares a los obtenidos con el modelo de voladizo, teniendo prácticamente el mismo resultado: la radiación solar disminuye hasta valores máximos de 95 Wh/m2 en los meses de verano.

La ventana permanece protegida durante la mayor parte de las horas en las que se alcanzan temperaturas exteriores elevadas.

MODELO 5. PROTECCIÓN VERTICAL A LA IZQUIERDA

Radiación solar directa (Wh/m²)



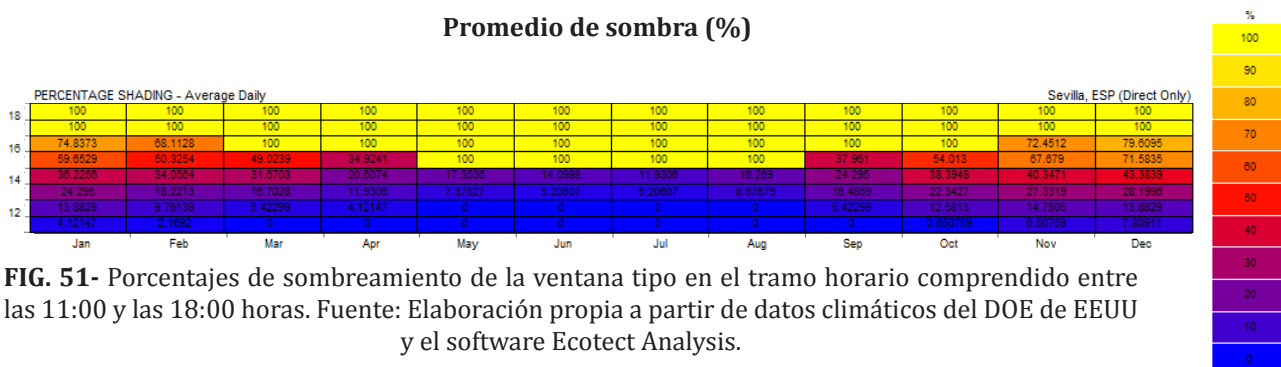
Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 50- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)



Al igual que en la orientación Este, observamos que este sistema arroja porcentajes de sombra insuficientes en los meses de verano, comprendidos entre 5 y 17% de sombreado. Como consecuencia obtenemos valores de radiación muy elevados, hasta 412 Wh/m², en momentos con temperaturas exteriores muy altas. Por lo tanto, podemos decir que **este sistema también es INEFICIENTE en orientación Sureste.**

E) Resumen de resultados:

Realizamos unas tablas comparativas, entre los diferentes modelos de estudio para analizar, por un lado la comparación de radiación mensual (en Wh/m²) que incide en la ventana tipo, y por otro lado, el promedio de sombra sobre la ventana en cada modelo.

Radiación directa sobre ventana tipo (Wh/m ²)					
Mes	Sin protección	Voladizo	Lamas 45º	Vertical derecha	Vertical izquierda
Jan	2442	1724	1730	-	2034
Feb	2501	1583	1579	-	2183
Mar	2390	1341	1338	-	2204
Apr	2030	906	928	-	1961
May	1909	776	816	-	1884
Jun	1802	761	817	-	1786
Jul	2024	837	895	-	2006
Aug	2504	1062	1089	-	2462
Sep	2482	1193	1203	-	2373
Oct	2737	1601	1585	-	2505
Nov	2503	1681	1683	-	2135
Dec	2263	1641	1651	-	1825
Verano	2110	887	934	-	2085

Fig. 52: Tabla comparativa de los valores diarios de incidencia de radiación solar directa sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección. Con un recuadro rojo se limitan los meses de verano. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Promedio de Sombra					
Mes	Sin protección	Voladizo	Lamas 45º	Vertical derecha	Vertical izquierda
Jan	11%	37%	37%	-	35%
Feb	11%	44%	43%	-	31%
Mar	27%	60%	59%	-	37%
Apr	25%	65%	63%	-	31%
May	38%	75%	72%	-	40%
Jun	38%	75%	73%	-	40%
Jul	38%	75%	73%	-	40%
Aug	38%	73%	72%	-	40%
Sep	27%	68%	66%	-	35%
Oct	20%	54%	54%	-	33%
Nov	11%	40%	39%	-	37%
Dec	0%	26%	25%	-	31%

Fig. 53: Tabla comparativa de los porcentajes de sombreamiento diario sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección. Con un recuadro rojo se limitan los meses de verano. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Vemos que, en los meses de verano (Junio, Julio y Agosto), el voladizo y las lamas son las protecciones que proporcionan mayor sombra, reduciendo la radiación hasta en 1180 Wh/m² en algún caso, respecto al modelo sin protección. La protección vertical izquierda tan solo evita un máximo de 42 Wh/m² en el periodo de verano, debido a que su porcentaje de sombra sobre el hueco tan solo aumenta en un 2% del modelo base. Con el voladizo, en cambio, aumenta hasta un 37%.

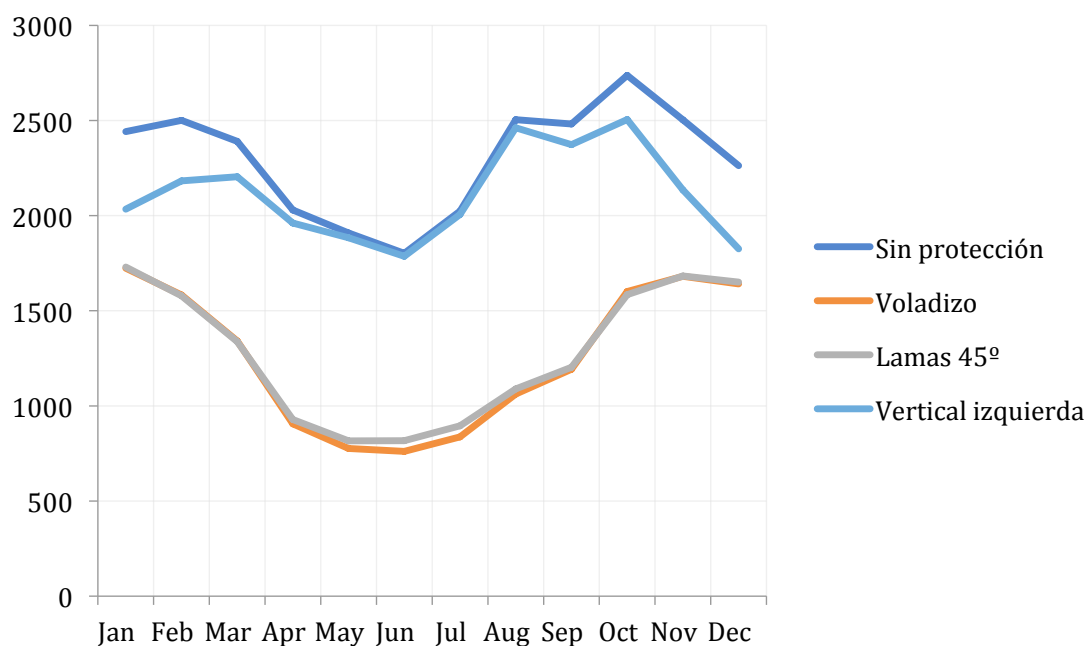


Fig. 54: Gráfica comparativa de los valores diarios de incidencia de radiación solar directa sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Observamos, gráficamente, como la radiación obtenida con el modelo base y con la protección vertical, prácticamente se solapan en los meses de verano, evidenciando la poca eficiencia de estos sistemas para la orientación Sureste.

En los meses de Mayo a Septiembre se observa, de nuevo una clara diferencia de los modelos con elementos horizontales.

En la siguiente tabla se indica la radiación normal que incide en la ventana durante los meses de verano, incluyendo el porcentaje que disminuye en cada caso, respecto del modelo sin protección. Mostramos, también una gráfica con estos valores.

	Sin protección	Voladizo	Lamas 45°	Vertical derecha	Vertical izquierda
Radiación en verano (Wh/m²)	2110	887	934	-	2085
Disminución de la radiación	0%	58%	56%	-	1%

Fig. 55: Tabla comparativa de los valores de radiación directa media diaria, en verano, sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección y disminución de esta respecto al modelo sin protección. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

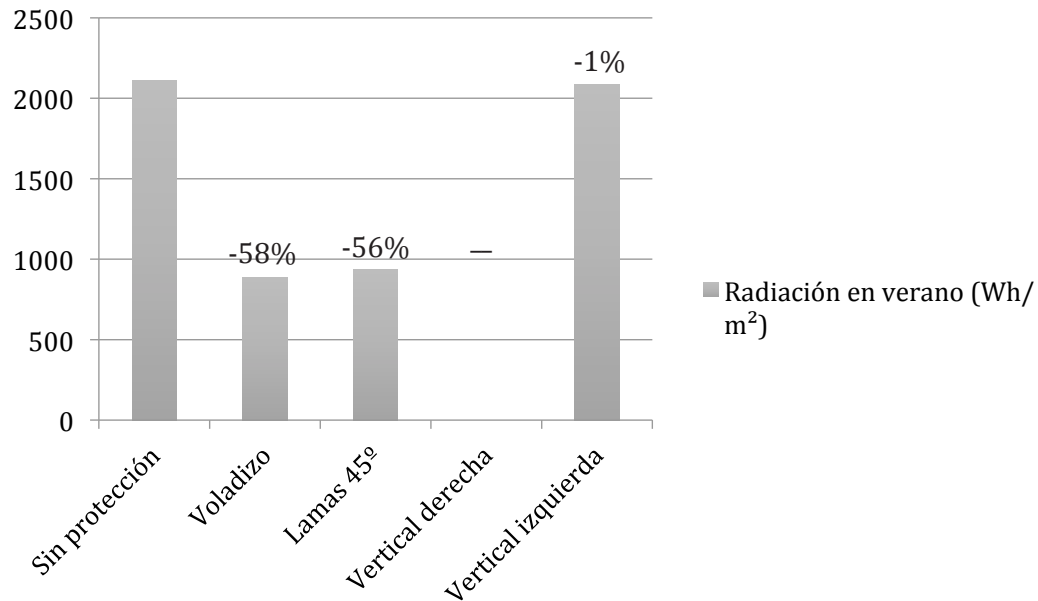

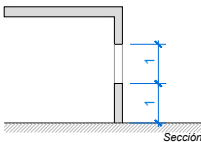
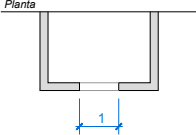

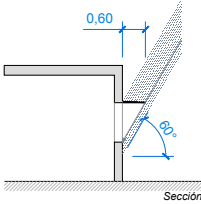
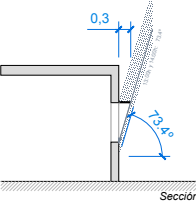

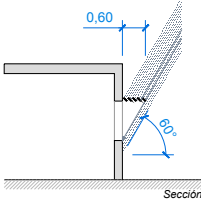
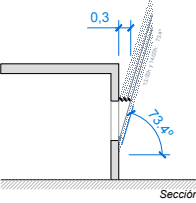

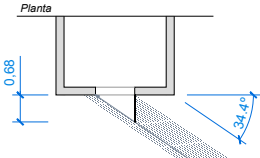

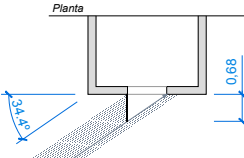


Fig. 56: Gráfica comparativa de los valores de radiación directa media diaria, en verano, sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección y disminución de esta respecto al modelo sin protección. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Se muestra la gran efectividad de los voladizos para esta orientación, teniendo una reducción del 58% de la radiación durante los meses de verano. En el caso de los modelos con lamas a 45° también resultan muy eficientes, con un 56% de reducción, similar al modelo de voladizo. Como ya venimos diciendo, la protección vertical es casi nula en este caso, obteniendo una reducción de tan solo un 1% respecto al modelo base, equivalente a 25 Wh/m2 de media.

6.2.1. ORIENTACIÓN SUR

A) *Cálculo de las dimensiones de los elementos:*

	Tabla de Arias y Ávila (20°N)	Adaptación a latitud 37°N
 SIN PROTECCIÓN		
 VOLADIZO		 <p>El ángulo de incidencia solar de cálculo se da a la 13:00h y 14:00h.</p>
 Lamas 45°		
 PROTECCIÓN VERTICAL DERECHO	— *	
 PROTECCIÓN VERTICAL IZQUIERDA	— *	



* Arias y Ávila no proponen ángulos ya que no tienen mucha eficacia. En nuestro caso plantearemos una solución: teniendo en cuenta que en las horas más desfavorables tenemos un ángulo de prácticamente 0°, tendremos que irnos a una hora en la que el ángulo de influencia horizontal no sea mayor de 45°, ya que no tiene sentido que el elemento de protección sea mayor que el hueco a proteger.

**No es necesaria dicha protección ya que, en esta orientación, no recibe radiación directa proveniente de dicha dirección de estudio, en el tramo horario de 11:00 a 18:00h.

***No se realizarán simulaciones de este modelo por sobredimensionado excesivo.

B) *Estudio de las sombras:*

- Carta solar estereográfica con máscara de sombras

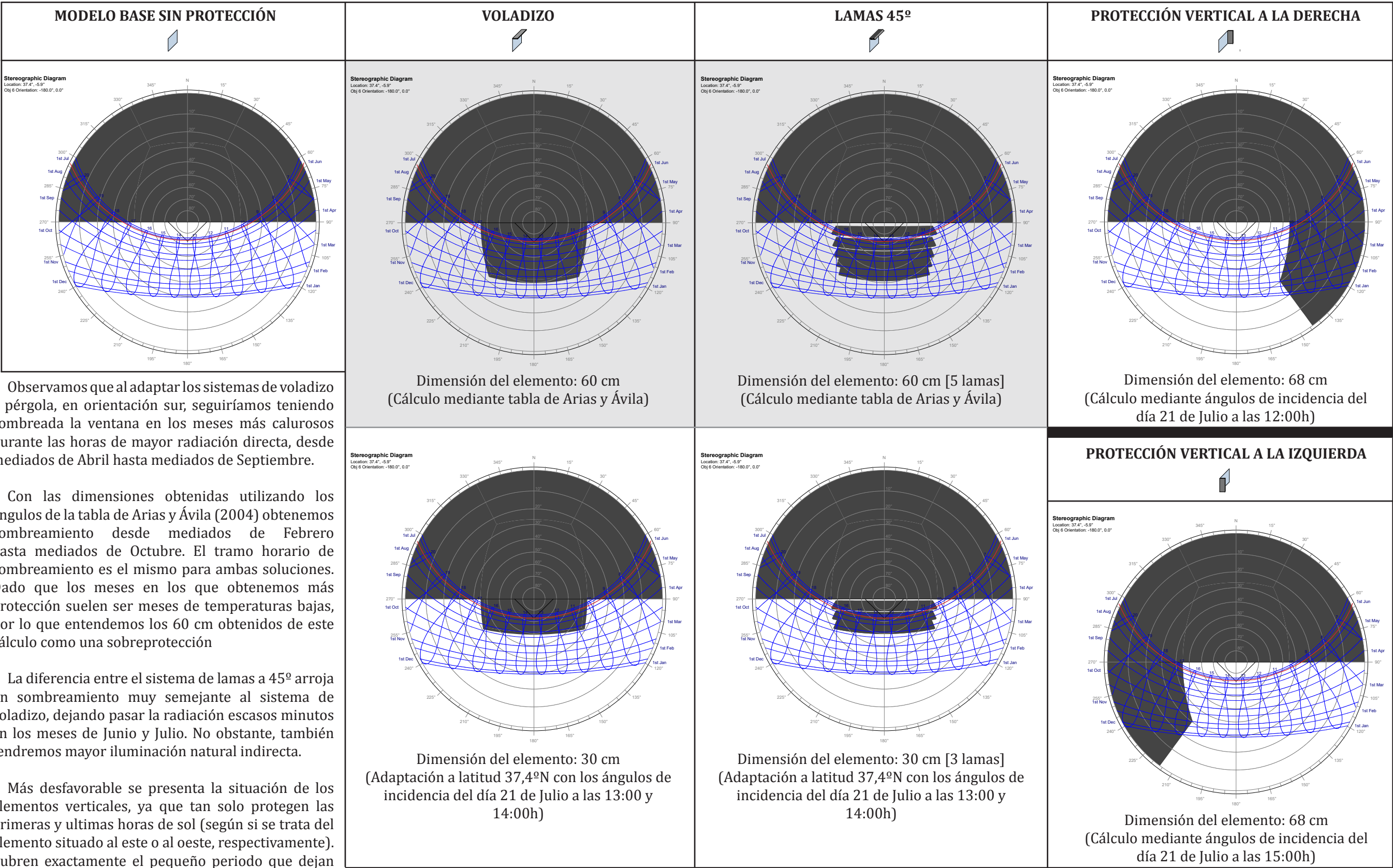


Fig. 57: Tabla comparativa de las cartas solares estereográficas de los diferentes modelos simulados. Con una línea roja se indica el día 21 de Julio, estadísticamente más caluroso. Aparecen en un recuadro sombreado de gris las cartas solares de los modelos obtenidos mediante los cálculos propuestos por Arias y Ávila. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

- **Proyección de sombra sobre la fachada**

Se trata de la evolución de la sombra que será arrojada por cada elemento sobre la fachada a lo largo del año, en el tramo horario de estudio. Para ello se han estudiado los tres momentos con los que podemos resumir el año: solsticio de invierno (21 de Diciembre), equinoccios (21 de Marzo y 21 de Septiembre) y solsticio de verano (21 de Junio).


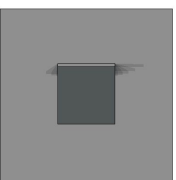
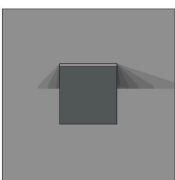
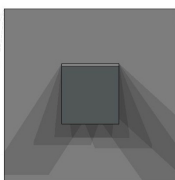

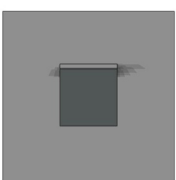
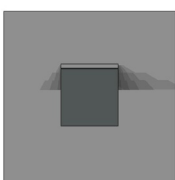
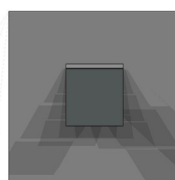

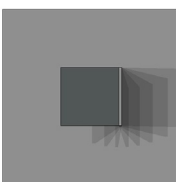
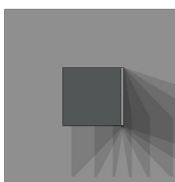
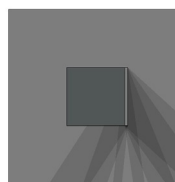

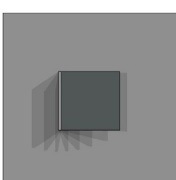
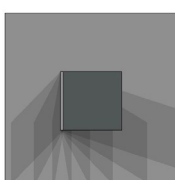
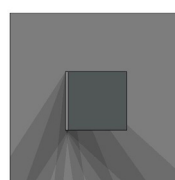
	Solsticio de invierno 21 de Diciembre	Equinoccios 21 de Marz., 21 de Sept.	Solsticio de verano 21 de Junio
 VOLADIZO			
 Lamas 45°			
 PROTECCIÓN VERTICAL DERECHO			
 PROTECCIÓN VERTICAL IZQUIERDA			

Fig. 58: Tabla comparativa de las sombras proyectadas por los diferentes elementos sombreadores de estudio durante los solsticios y equinoccios, entre las 11:00h y las 18:00h. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

C) Exposición a la radiación solar:

En primer lugar se realizará un estudio la radiación solar directa percibida por la fachada en los meses de verano (del 1 de Junio al 31 de Agosto), entre las 11:00h y las 18:00h, para obtener así un primer acercamiento.

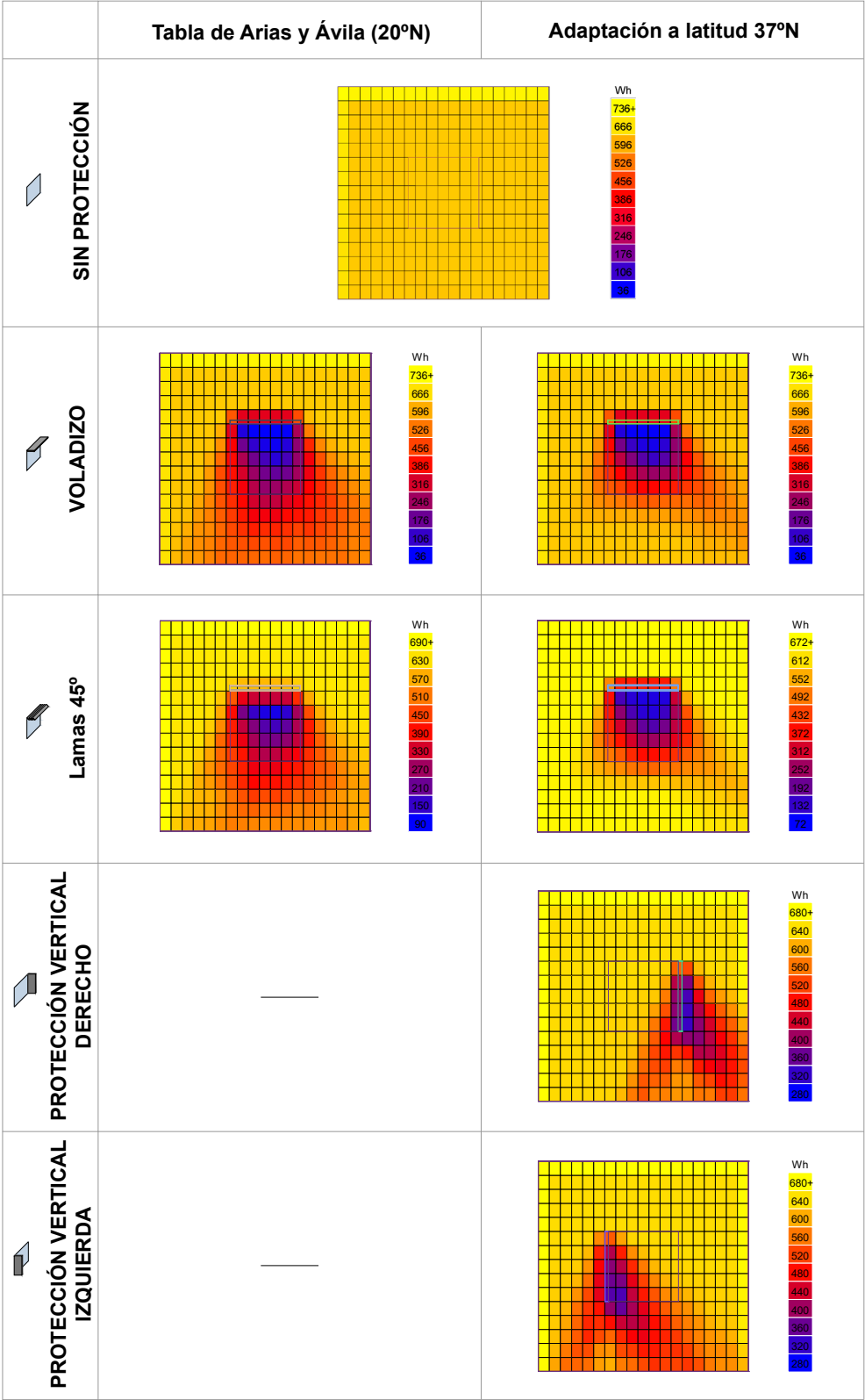


Fig. 59: Tabla comparativa de la radiación directa sobre fachada del 01Jn. al 31Ag., entre las 11:00h y las 18:00h. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Vemos que la diferencia de radiación entre las diferentes dimensiones en los modelos de voladizo y lamas a 45° no afectan a la ventana, la incidencia aumenta en el resto de la fachada, en los modelos adaptados respecto a los calculados mediante los ángulos dados por Arias y Ávila.

Por esta causa, el análisis de la incidencia normal de radiación solar a lo largo del año sobre la ventana tipo lo haremos directamente sobre el modelo adaptado.

D) Evaluación Radiación solar - Temperatura actual - Sombreamiento:

Con este análisis observaremos la relación directa que tendremos entre la radiación solar directa sobre la ventana (Wh/m^2), las temperaturas exteriores ($^\circ\text{C}$) y el porcentaje de sombra (%). Se realizará teniendo las tres tablas consecutivas, por cada modelo, para poder realizar una rápida comparación entre ellas.

Esto nos ayudará a comprender y verificar si el elemento sombreador está siendo eficiente o no, dependiendo de si proyecta una sombra adecuada durante las horas más calurosas de cada mes y evita una radiación solar suficiente.

La forma de proceder será igual que en la orientación anterior.

MODELO 1. SIN PROTECCIÓN

Radiación solar directa (Wh/m²)

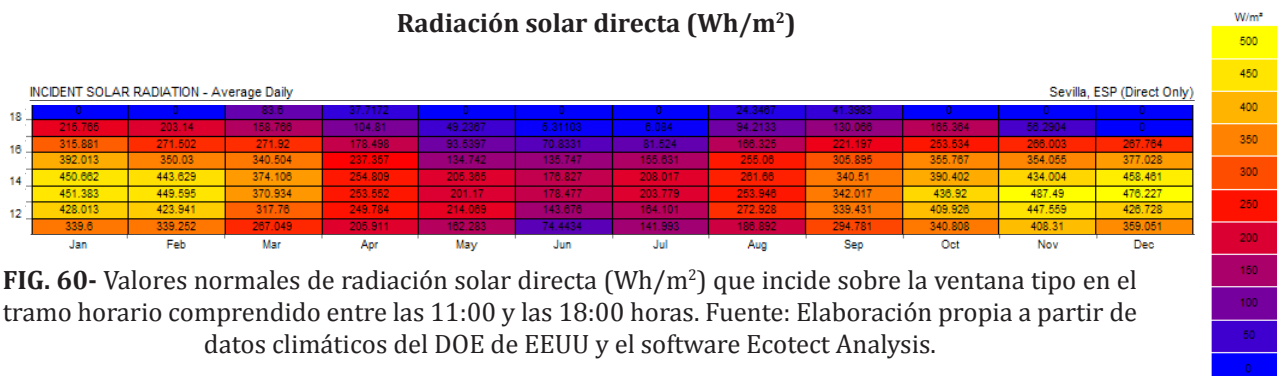


FIG. 60- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 61- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)

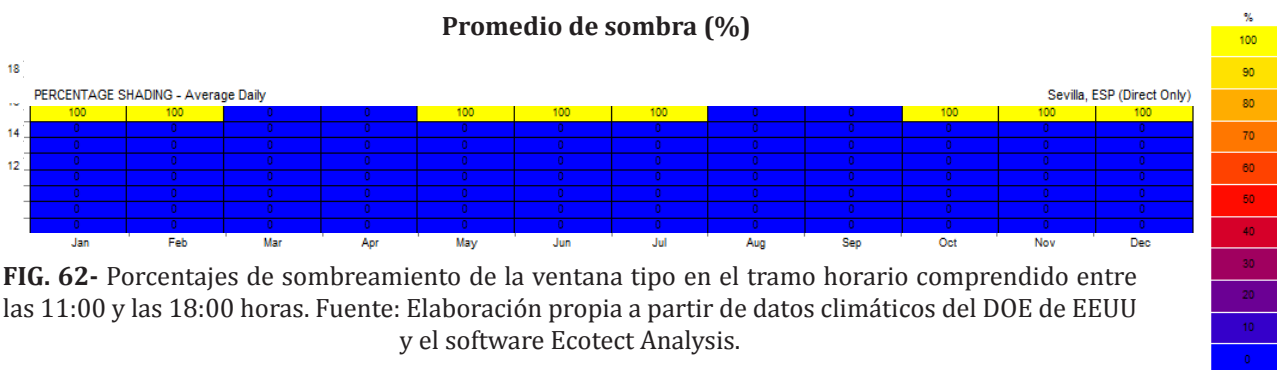


FIG. 62- Porcentajes de sombreadamiento de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

En el modelo base, con orientación Sur, observamos valores altos de radiación durante los meses de verano, con un valor máximo de 272,9 Wh/m² en el mes de Agosto. Hay que indicar que en esta orientación se observan los valores más bajos de radiación media en verano.

Los valores mas importantes de radiación en verano (de 135 a 272,9 Wh/m²) se perciben de 11:00 a 15:00h. Por lo tanto, estas horas deben de contar con un porcentaje de sombra adecuado para evitar estos valores de radiación tan elevados. Comprobaremos si estos son o no adecuados con cada sistemas de protección estudiados.

MODELO 2. VOLADIZO

Radiación solar directa (Wh/m²)

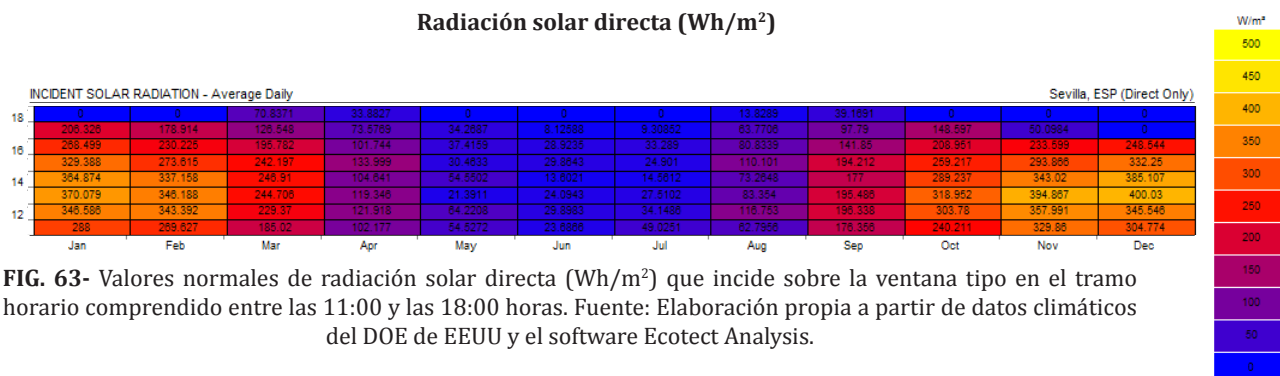


FIG. 63- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 64- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)

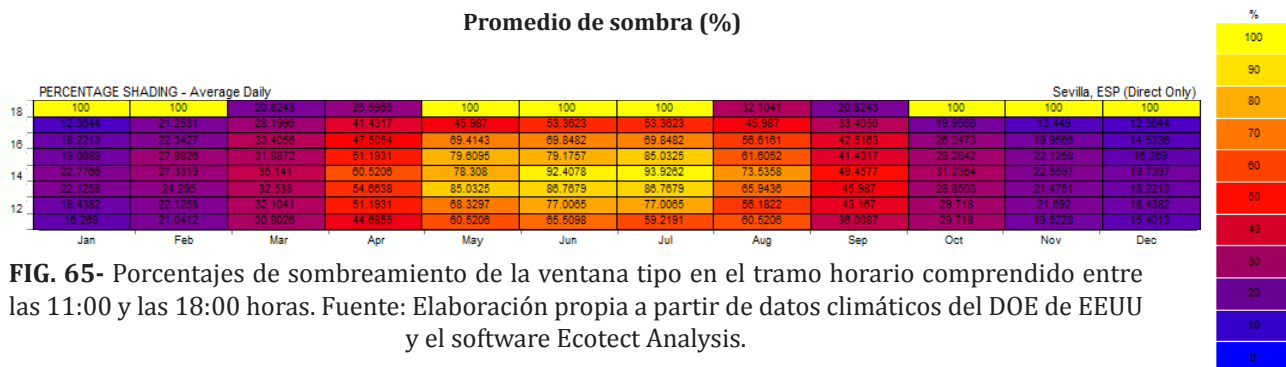


FIG. 65- Porcentajes de sombreado de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Con el sistema de voladizo se logra un sombreado efectivo en esta orientación, reduciendo los valores de radiación a menos de 100 Wh/m² en la gran mayoría de las horas, durante los meses de verano. Por lo que se protege el hueco durante todas las horas en las que se alcanzan temperaturas exteriores elevadas, y que en el modelo base aparecían con valores muy altos de radiación.

MODELO 3. PÉRGOLA CON LAMAS A 45º

Radiación solar directa (Wh/m²)

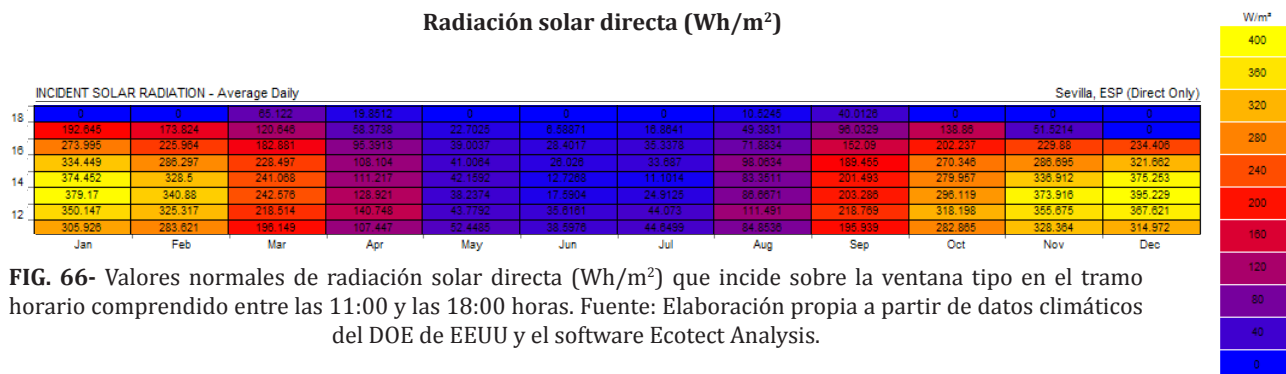


FIG. 66- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 67- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)

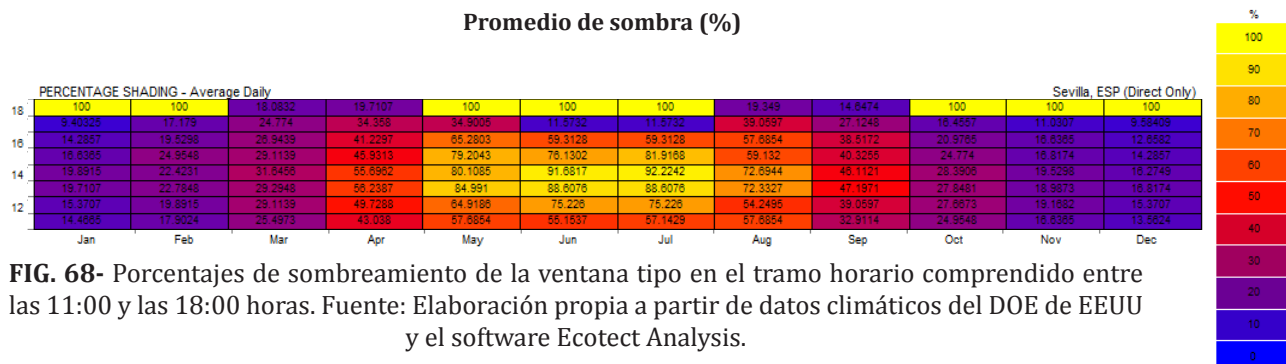


FIG. 68- Porcentajes de sombreado de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Con valores de sombra muy similares a los obtenidos con el modelo de voladizo, obtenemos prácticamente el mismo resultado: la radiación solar disminuye hasta valores máximos de 111 Wh/m2 en los meses de verano.

La ventana permanece protegida durante la mayor parte de las horas en las que se alcanzan temperaturas exteriores elevadas, y que en el modelo base aparecían con valores muy altos de radiación.

MODELO 4. PROTECCIÓN VERTICAL A LA DERECHA

Radiación solar directa (Wh/m²)

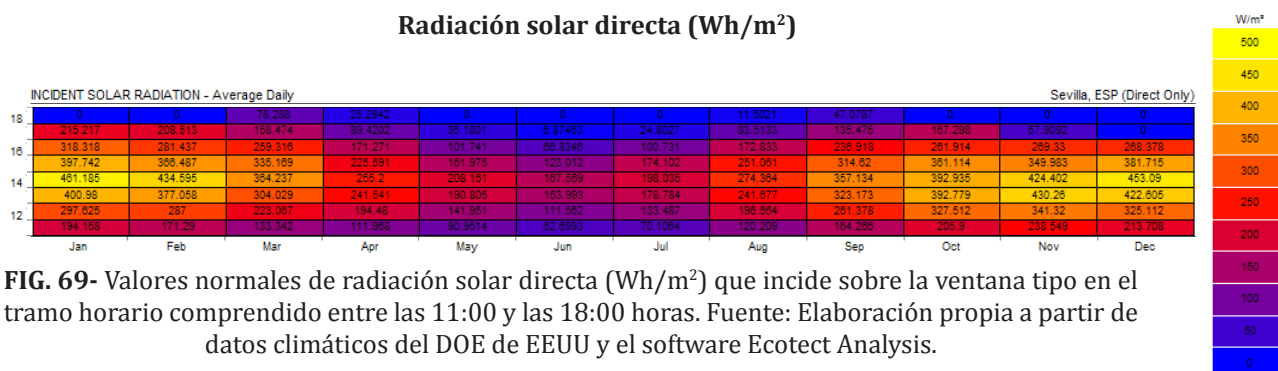


FIG. 69- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 70- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)

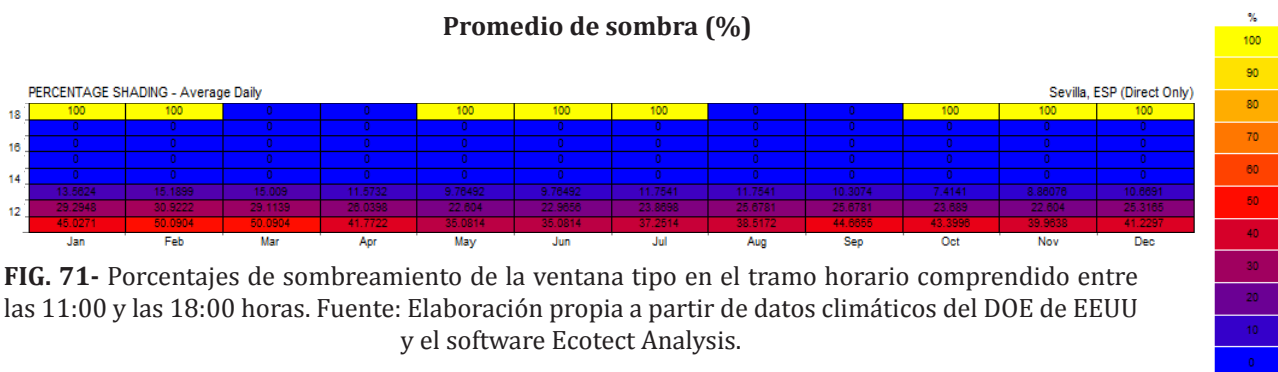


FIG. 71- Porcentajes de sombreado de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Observamos porcentajes de sombreado superiores a los obtenidos con el mismo sistema en orientaciones Este y Sureste, de 9 a 38%, pero vemos que sigue siendo insuficiente, ya que la ventana percibe valores elevados de radiación en las horas de mayor temperatura exterior: entre 167 y 274 Wh/m², de 13:00 a 16:00.

Esto sucede debido a que esta protección vertical solo es eficiente durante las primeras horas de la mañana, cuando el sol está elevándose, ya que el elemento se sitúa al este de la ventana.

Podemos decir que **la protección vertical derecha, por sí sola, NO ES EFICIENTE en orientación Sur.**

MODELO 5. PROTECCIÓN VERTICAL A LA IZQUIERDA

Radiación solar directa (Wh/m²)

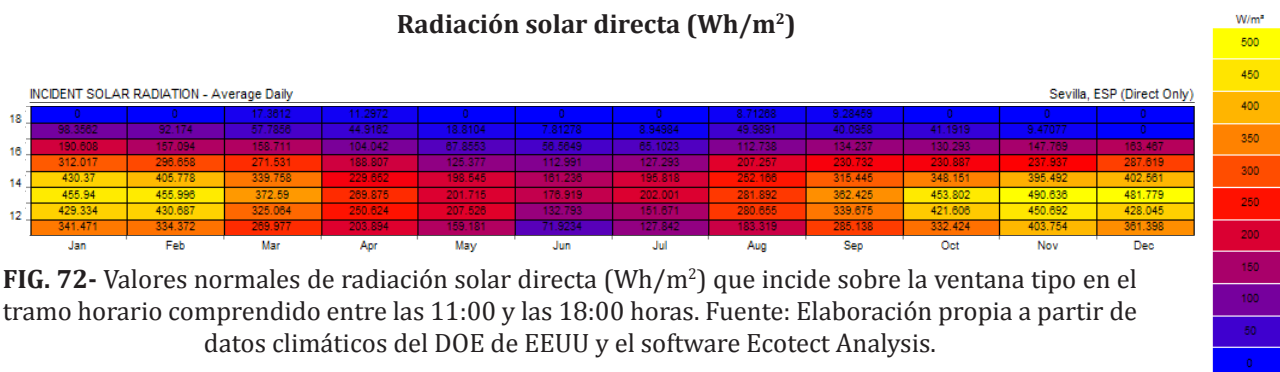


FIG. 72- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 73- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)

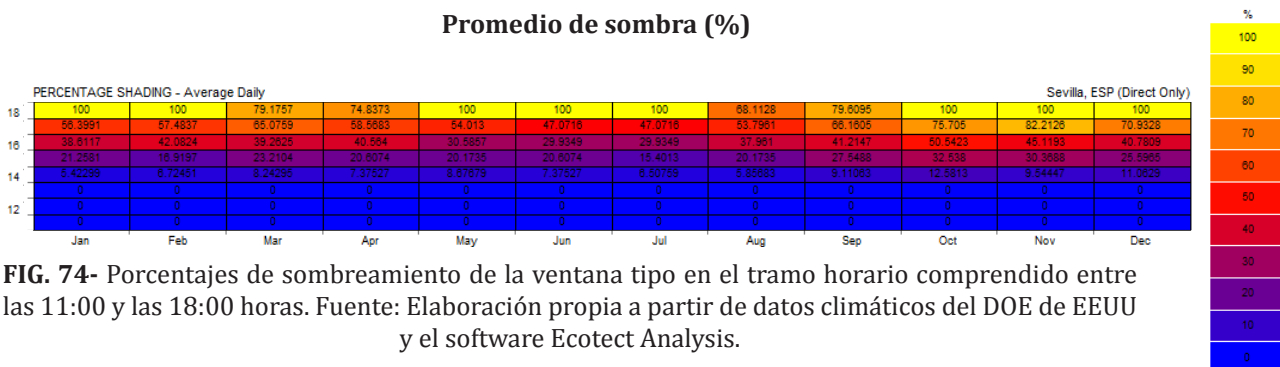


FIG. 74- Porcentajes de sombreadamiento de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

En este caso, al contrario que el anterior, el elemento tendrá más eficacia al final del día, cuando el sol comienza a caer, ya que el elemento vertical se sitúa al oeste de la ventana.

Observamos porcentajes de sombra de entre 5 y 53% durante los meses de verano, de 14:00 a 17:00, incrementándose conforme pasan las horas. Pero esto no resulta adecuado, ya que de 11:00 a 13:00 no se percibe sombra alguna y tenemos temperaturas muy altas, junto con altos valores de radiación directa sobre el hueco (hasta 281 Wh/m²).

Podemos decir que **la protección vertical izquierda, por sí sola, NO ES EFICIENTE en orientación Sur.**

E) Resumen de resultados:

A continuación se realizan unas tablas comparativas, entre los diferentes modelos de estudio. Por un lado tendremos la comparación de radiación diaria que incide en la ventana tipo, y por otro lado, se compara el promedio de sombreadamiento sobre la ventana en cada modelo.

Radiación directa sobre ventana tipo (Wh/m ²)					
Mes	Sin protección	Voladizo	Lamas 45º	Vertical derecha	Vertical izquierda
Jan	3062	2521	2589	2375	2706
Feb	2852	2199	2302	2201	2523
Mar	2549	1774	1872	1991	2161
Apr	1712	875	933	1434	1477
May	1149	329	346	965	1047
Jun	814	164	192	733	741
Jul	973	197	231	873	901
Aug	1734	710	712	1407	1520
Sep	2375	1418	1451	1871	2047
Oct	2960	2165	2247	2236	2538
Nov	2996	2408	2536	2327	2685
Dec	2783	2330	2381	2171	2521
Verano	1174	357	378	1004	1054

Fig. 75: Tabla comparativa de los valores diarios de incidencia de radiación solar directa sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección. Con un recuadro rojo se limitan los meses de verano. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Promedio de Sombra					
Mes	Sin protección	Voladizo	Lamas 45º	Vertical derecha	Vertical izquierda
Jan	0%	16%	14%	28%	14%
Feb	0%	22%	18%	29%	14%
Mar	0%	27%	23%	31%	20%
Apr	17%	53%	50%	35%	33%
May	38%	79%	77%	48%	47%
Jun	38%	82%	75%	48%	47%
Jul	38%	82%	76%	49%	46%
Aug	23%	63%	60%	39%	37%
Sep	0%	35%	31%	28%	20%
Oct	0%	25%	21%	31%	17%
Nov	0%	18%	15%	24%	19%
Dec	0%	15%	13%	30%	10%

Fig. 76: Tabla comparativa de los porcentajes de sombreadamiento diario sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección. Con un recuadro rojo se limitan los meses de verano. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Al comparar estas tablas conjuntamente se prueba la importancia de los elementos sombreadores ya que se ve claramente la relación que existe entre el porcentaje de sombra emitido por cada elemento de protección y la disminución de radiación directa que tendremos.

Vemos que, en los meses de verano (Junio, Julio y Agosto), el voladizo es la protección que proyecta mayor promedio de sombra, reduciendo la radiación del mes de Julio en casi 800Wh/m². Las lamas resultan prácticamente igual de eficientes, con una diferencia de unos 35Wh/m² entre ambos modelos.

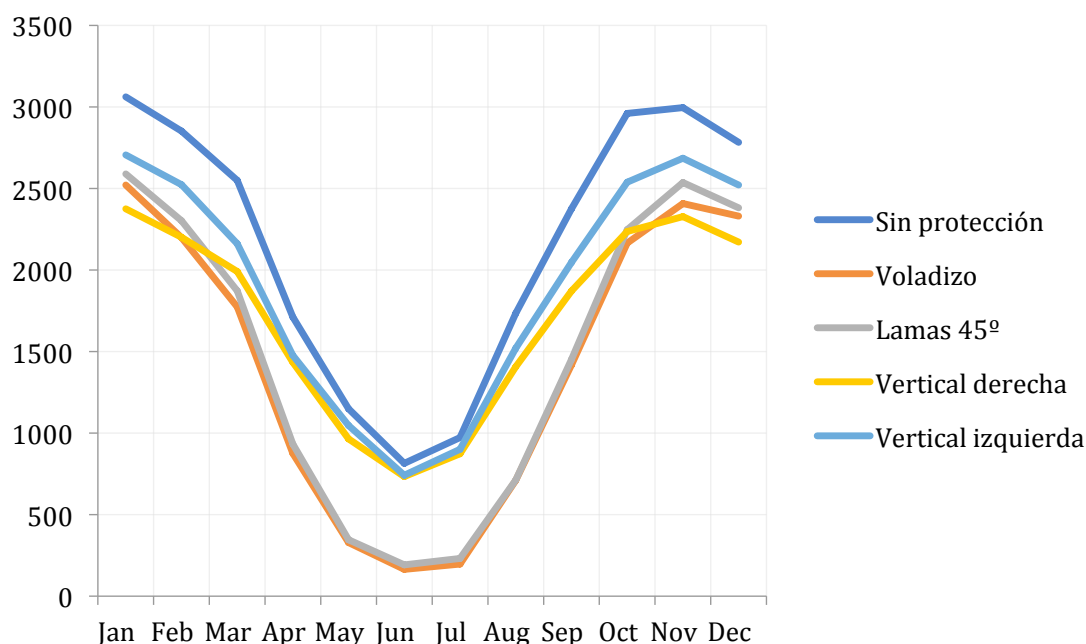


Fig. 77: Gráfica comparativa de los valores diarios de incidencia de radiación solar directa sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Para la orientación Sur, se observa que los valores obtenidos con los elementos de protección vertical son prácticamente iguales al modelo sin protección, por lo que resultan ineficaces para la orientación Sur. Resultan incluso desfavorables, ya que llega a ser el elemento que menos radiación permite pasar en invierno (caso del elemento situado a la derecha), cuando se trata de ganancias favorables

En los meses de Mayo a Septiembre se observa una clara ventaja de los modelos con los elementos horizontales, como ya se venía observando en las demás comparaciones previas.

En la siguiente tabla se indica la radiación media diaria que incide en la ventana, durante los meses de verano, incluyendo el porcentaje que disminuye en cada caso, respecto del modelo sin protección. Posteriormente, mostramos los valores gráficamente para tener una comparación más expresiva y dinámica.

	Sin protección	Voladizo	Lamas 45°	Vertical derecha	Vertical izquierda
Radiación en verano (Wh/m²)	1174	357	378	1004	1054
Disminución de la radiación	0%	70%	68%	14%	10%

Fig. 78: Tabla comparativa de los valores de radiación directa media diaria, en verano, sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección y disminución de esta respecto al modelo sin protección. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

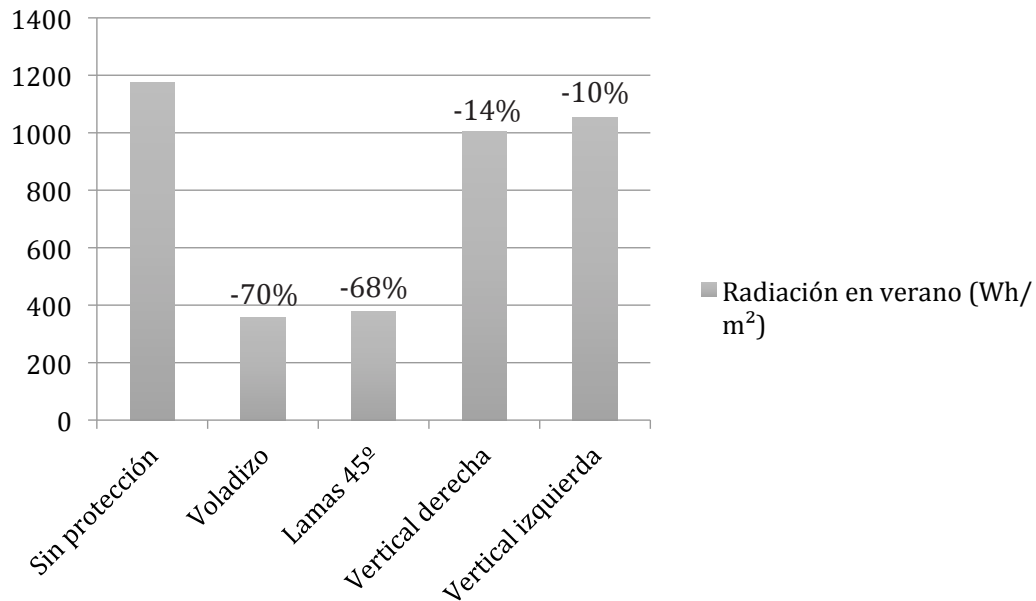

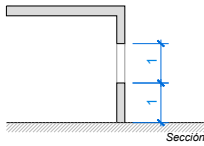
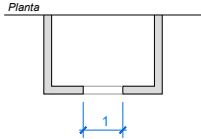

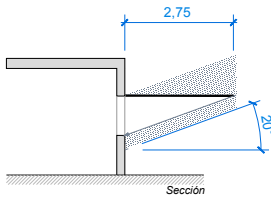
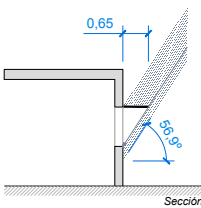

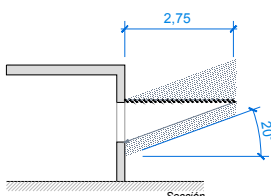
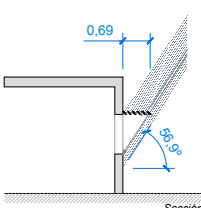

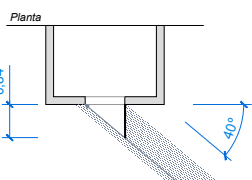
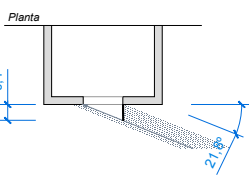


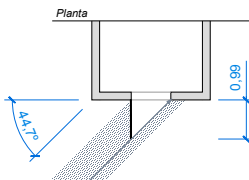


Fig. 79: Gráfica comparativa de los valores de radiación directa media diaria, en verano, sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección y disminución de esta respecto al modelo sin protección. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Observamos que el caso de protección mediante voladizo es el que mayor reducción acaba teniendo con un 70%. Con las lamas a 45° obtenemos una reducción poco menor, 68%, mientras que con las protecciones verticales se verifica su poca eficiencia para la orientación Sur, sobre todo con la dispuesta a la izquierda con la que tan solo se consigue una disminución del 10%, debido a que funciona durante las últimas horas del día, cuando la radiación es más baja. El caso de la vertical derecha es más favorable, consiguiendo una mejora del 14%, debido a que evita la radiación proveniente del Este, durante las primeras horas de la mañana.

6.2.4. ORIENTACIÓN SUROESTE

A) *Cálculo de las dimensiones de los elementos:*

	Tabla de Arias y Ávila (20°N)	Adaptación a latitud 37°N
 SIN PROTECCIÓN		
 VOLADIZO	 ***	
 Lamas 45°	 ***	
 PROTECCIÓN VERTICAL DERECHO		
 PROTECCIÓN VERTICAL IZQUIERDA		

* Arias y Ávila no proponen ángulos ya que no tienen mucha eficacia. En nuestro caso plantearemos una solución: teniendo en cuenta que en las horas más desfavorables tenemos un ángulo de prácticamente 0°, tendremos que irnos a una hora en la que el ángulo de influencia horizontal no sea mayor de 45°, ya que no tiene sentido que el elemento de protección sea mayor que el hueco a proteger.

**No es necesaria dicha protección ya que, en esta orientación, no recibe radiación directa proveniente de dicha dirección de estudio, en el tramo horario de 11:00 a 18:00h.

***No se realizarán simulaciones de este modelo por sobredimensionado excesivo.

B) *Estudio de las sombras:*

- Carta solar estereográfica con máscara de sombras

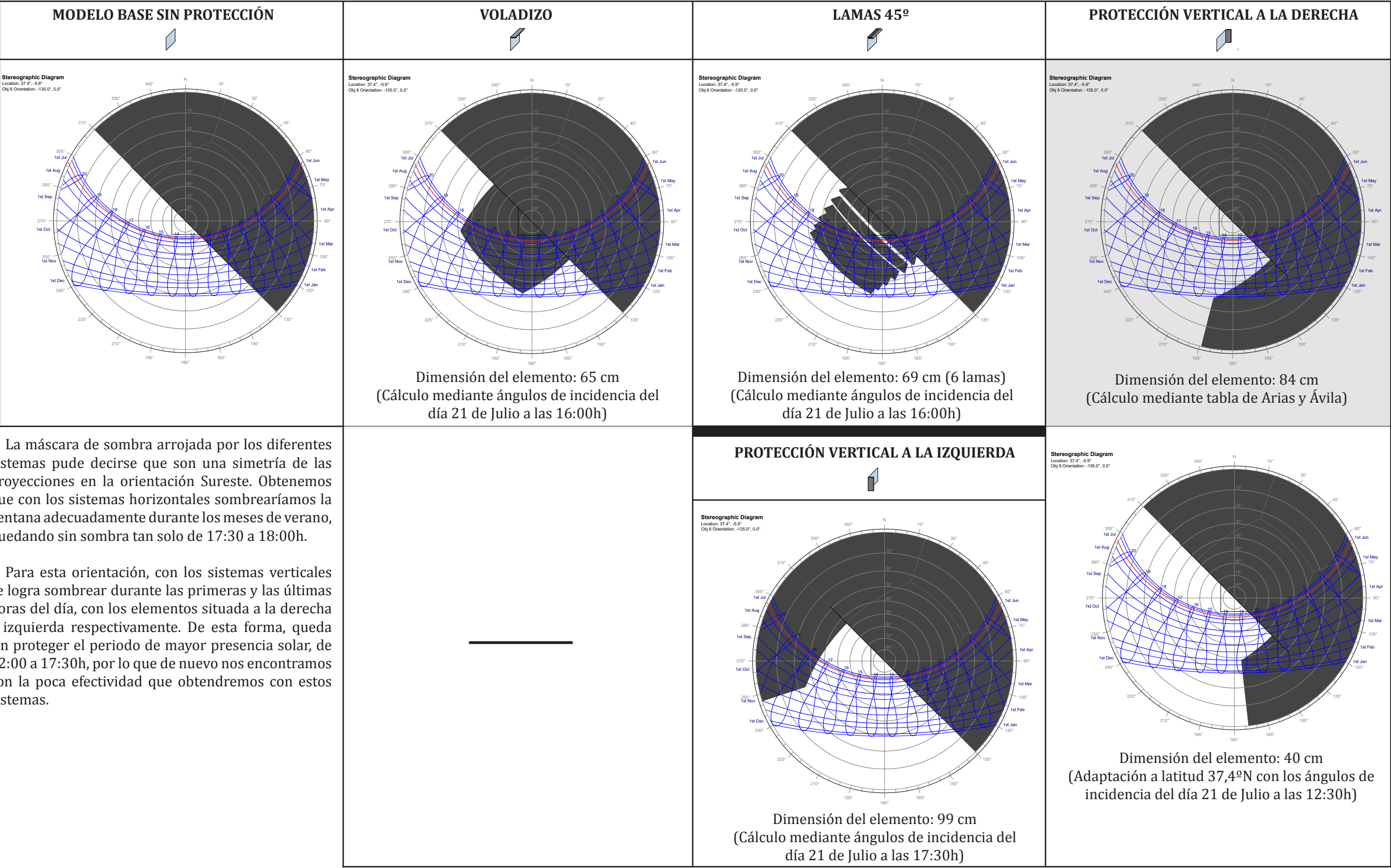


Fig. 80: Tabla comparativa de las cartas solares estereográficas de los diferentes modelos simulados. Con una línea roja se indica el día 21 de Julio, estadísticamente más caluroso. Aparecen en un recuadro sombreado de gris las cartas solares de los modelos obtenidos mediante los cálculos propuestos por Arias y Ávila. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

- **Proyección de sombra sobre la fachada**

Observaremos como evoluciona el sombreadamiento producido por cada elemento de sombra sobre la fachada tipo a lo largo del año, en el tramo horario estudiado. Se analizará dicha evolución a partir de los tres días más significativos en el recorrido solar: solsticio de invierno (21 de Diciembre), equinoccios (21 de Marzo y 21 de Septiembre) y solsticio de verano (21 de Junio).


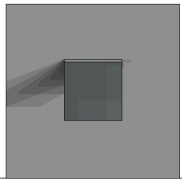
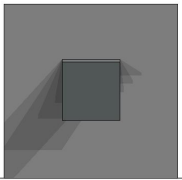
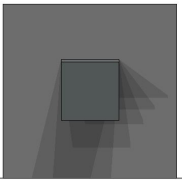

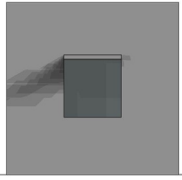
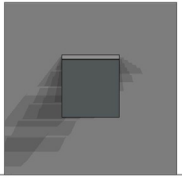
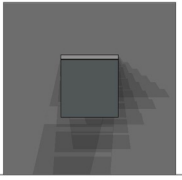

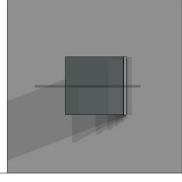
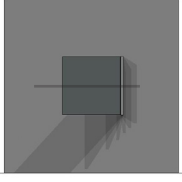
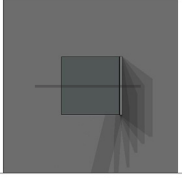

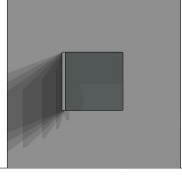
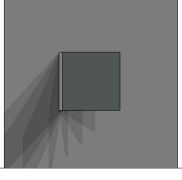
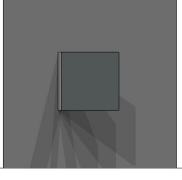
	Solsticio de invierno 21 de Diciembre	Equinoccios 21 de Marz., 21 de Sept.	Solsticio de verano 21 de Junio
 VOLADIZO			
 Lamas 45°			
 PROTECCIÓN VERTICAL DERECHO			
 PROTECCIÓN VERTICAL IZQUIERDA			

Fig. 81: Tabla comparativa de las sombras proyectadas por los diferentes elementos sombreadores de estudio durante los solsticios y equinoccios, entre las 11:00h y las 18:00h. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

C) *Exposición a la radiación solar:*

Realizaremos el estudio de la radiación solar directa sobre la fachada orientada al Suroeste en los meses de verano, entre las 11:00h y las 18:00h, obteniendo una primera impresión de la eficiencia que pueden tener los elementos.

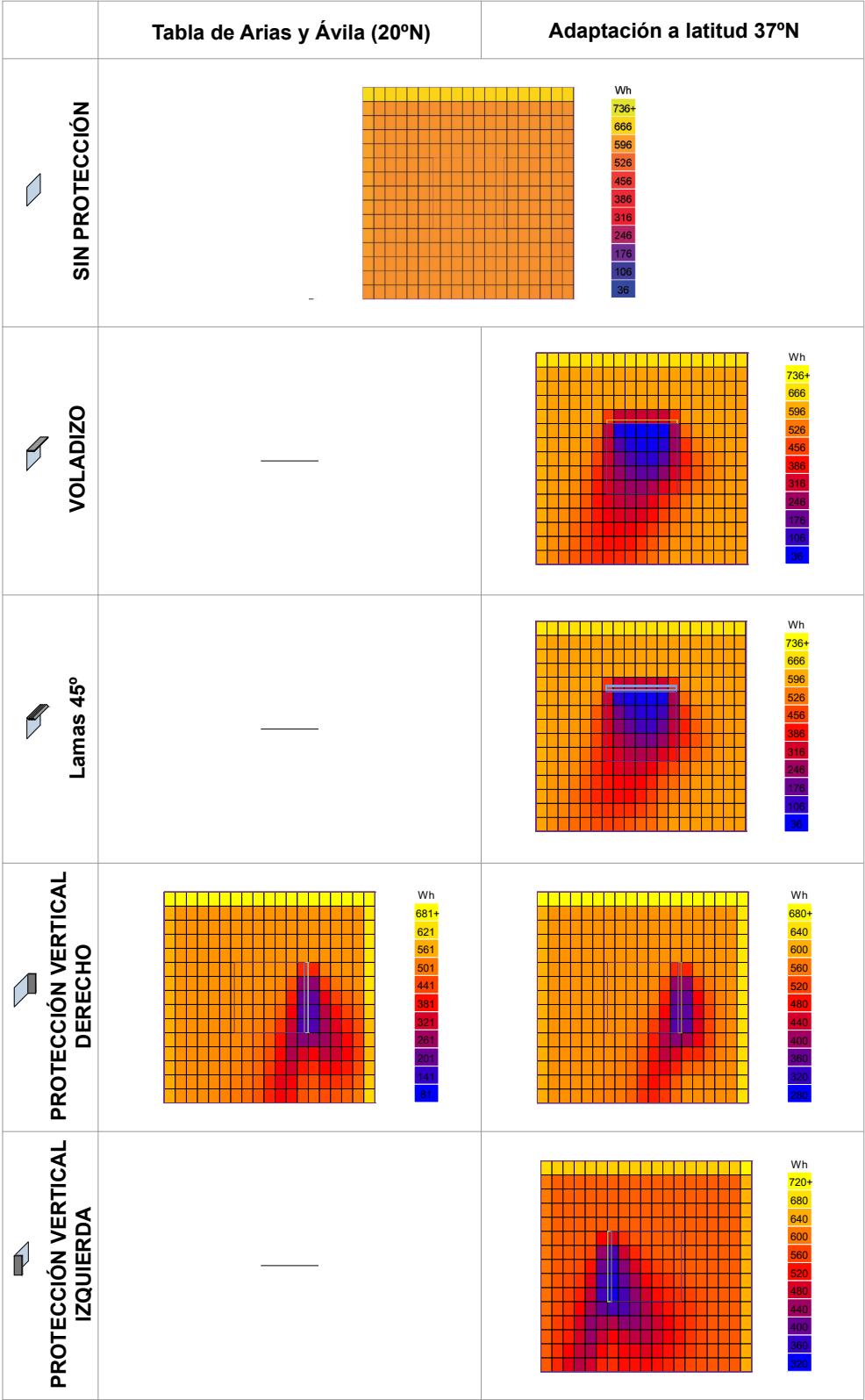


Fig. 82: Tabla comparativa de la radiación directa sobre fachada del 01Jn. al 31Ag., entre las 11:00h y las 18:00h. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

En el caso de fachadas con esta orientación, Arias y Ávila tan solo determinan ángulos para la protección vertical derecha. En este caso sacamos la misma conclusión que en las orientaciones anteriores, con la adaptación evitamos la misma cantidad de radiación que con la protección previa a ser adaptada a latitudes intermedias. Por lo tanto, el análisis de la incidencia normal de radiación solar a lo largo del año sobre la ventana tipo lo haremos directamente sobre el modelo adaptado.

Ya se puede observar como los elementos horizontales serán, a priori, más eficaces que los verticales.

D) Evaluación Radiación solar - Temperatura actual - Sombreamiento:

Con este análisis observaremos la relación directa que tendremos entre la radiación solar directa sobre la ventana (Wh/m^2), las temperaturas exteriores ($^{\circ}\text{C}$) y el porcentaje de sombra (%). Se realizará teniendo las tres tablas consecutivas, por cada modelo, para poder realizar una rápida comparación entre ellas.

Esto nos ayudará a comprender y verificar si el elemento sombreador está siendo eficiente o no, dependiendo de si proyecta una sombra adecuada durante las horas más calurosas de cada mes y evita una radiación solar suficiente.

La forma de proceder será igual que en las orientaciones anteriores.

MODELO 1. SIN PROTECCIÓN

Radiación solar directa (Wh/m²)

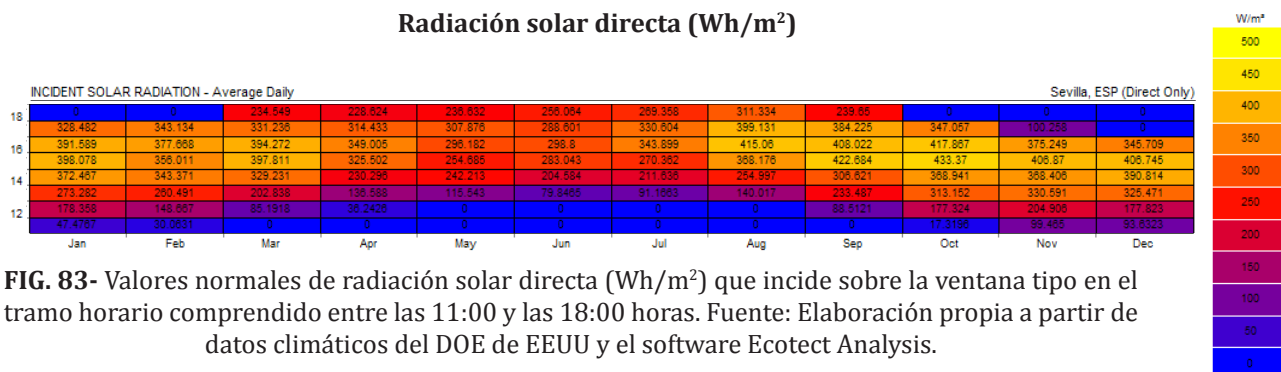


FIG. 83- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 84- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)

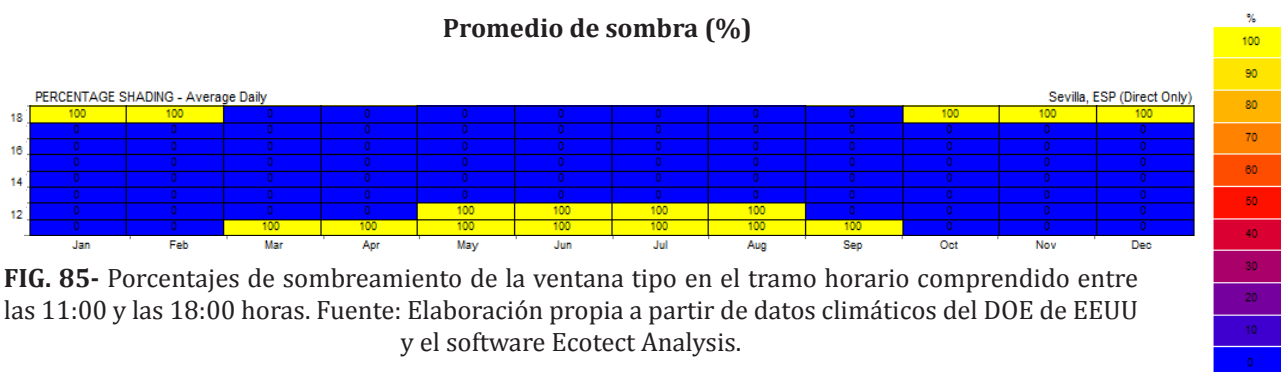


FIG. 85- Porcentajes de sombreadamiento de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

En el modelo base, observamos valores altos de radiación durante los meses de verano, con un valor máximo de 415 Wh/m² en el mes de Agosto. Los valores mas importantes de radiación en verano (de 204 a 415 Wh/m²) se perciben a partir de las 14:00h. Por lo tanto, estas horas deben de contar con un porcentaje de sombra adecuado para evitar estos valores de radiación tan elevados.

MODELO 2. VOLADIZO

Radiación solar directa (Wh/m²)

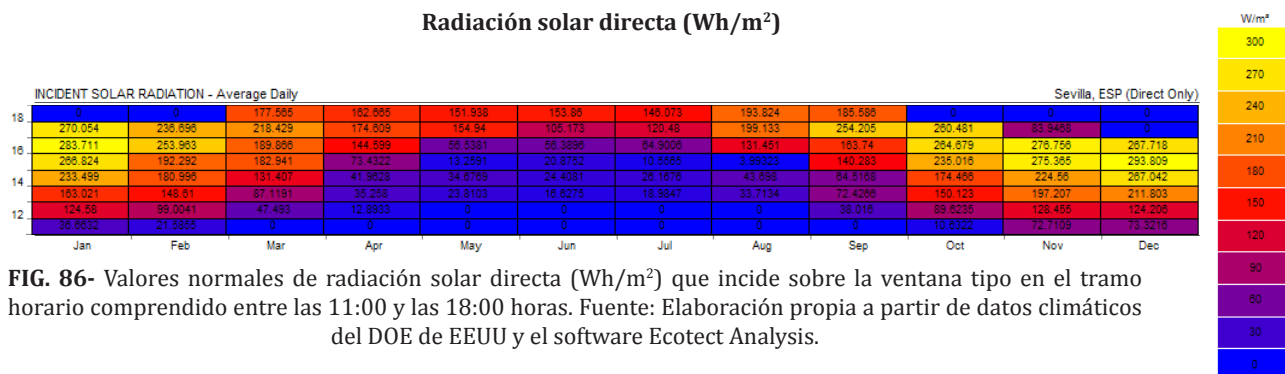


FIG. 86- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 87- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)

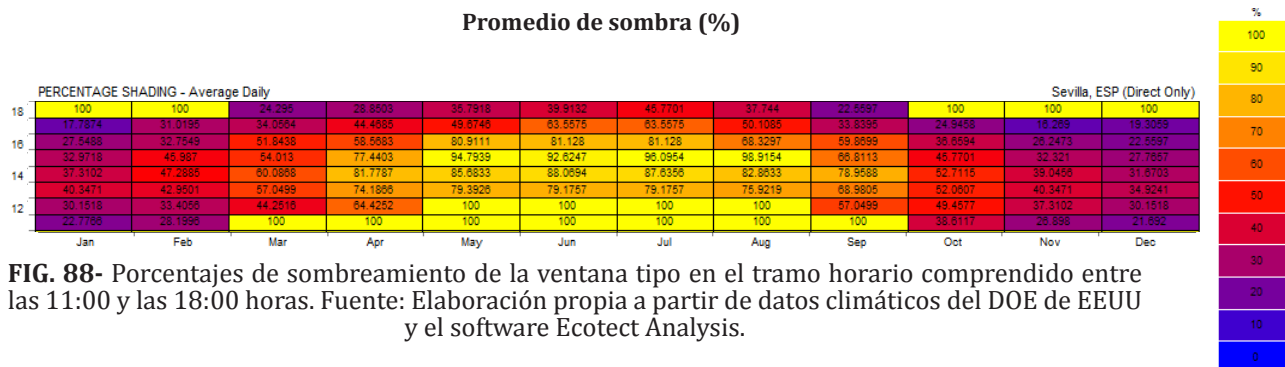


FIG. 88- Porcentajes de sombreado de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Con el sistema de voladizo se logra un sombreado adecuado en esta orientación, reduciendo los valores de radiación a menos de 100 Wh/m² en gran parte de las horas del verano. Por lo que se protege el hueco durante las horas en las que se alcanzan temperaturas exteriores elevadas, y que en el modelo base aparecían con valores muy altos de radiación.

MODELO 3. PÉRGOLA CON LAMAS A 45º

Radiación solar directa (Wh/m²)

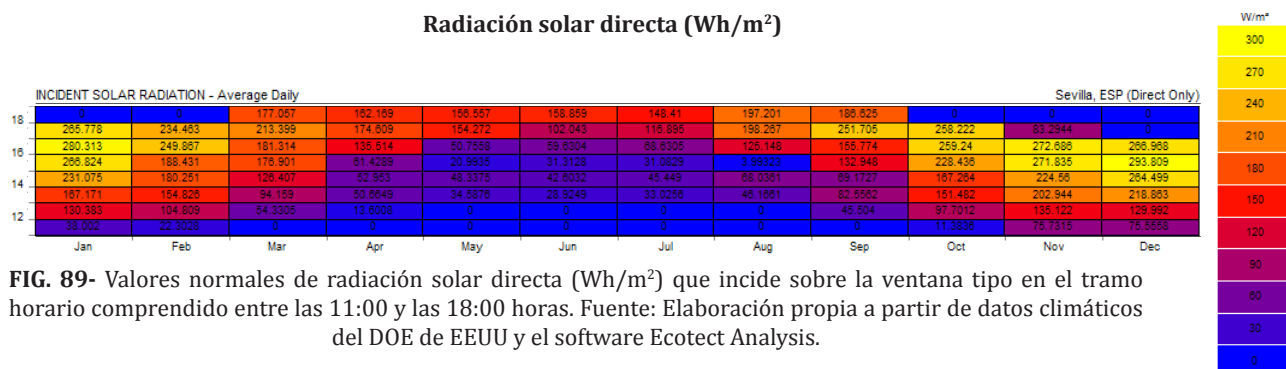


FIG. 89- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 90- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)

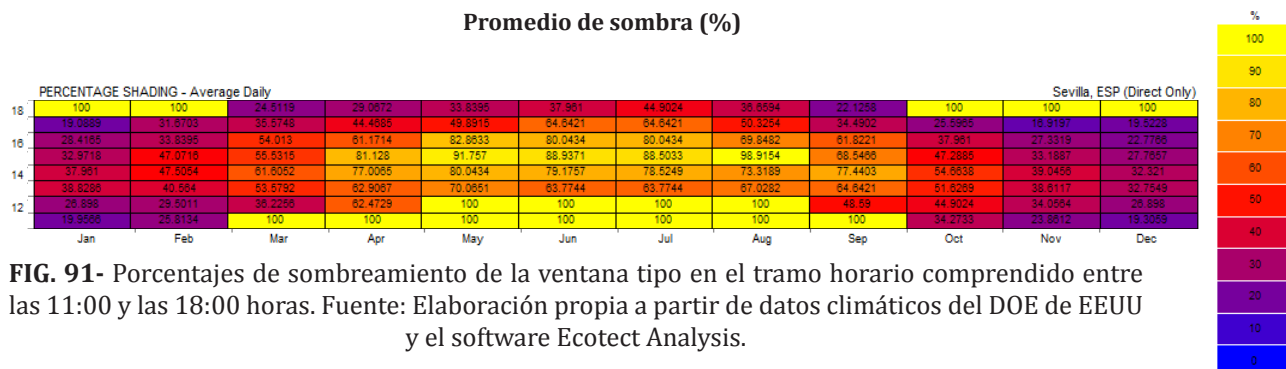


FIG. 91- Porcentajes de sombreadamiento de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Con valores de sombra muy similares a los obtenidos con el modelo de voladizo, obtenemos prácticamente el mismo resultado: la radiación solar disminuye hasta dejar en menos de 100 Wh/m² gran parte de las horas durante los meses de verano.

La ventana permanece protegida durante la mayor parte de las horas en las que se alcanzan temperaturas exteriores elevadas, y que en el modelo base aparecían con valores muy altos de radiación.

MODELO 4. PROTECCIÓN VERTICAL A LA DERECHA

Radiación solar directa (Wh/m²)

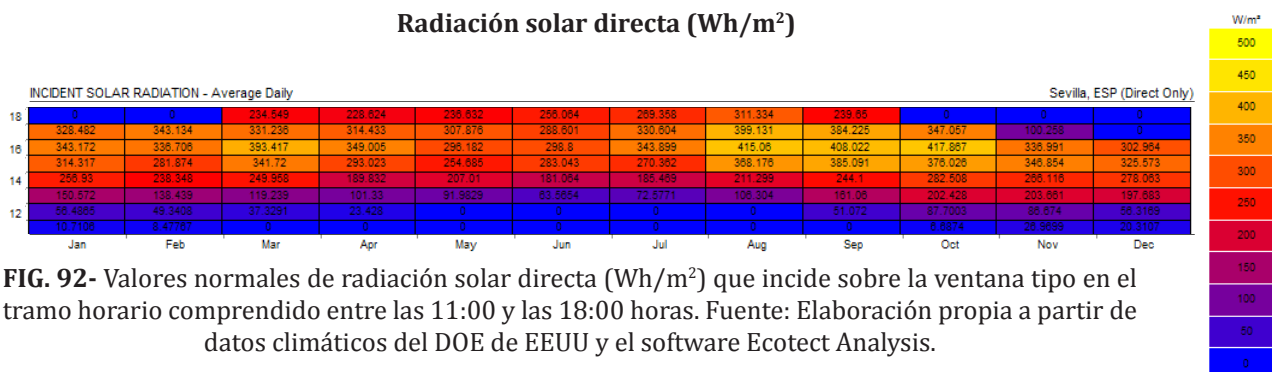


FIG. 92- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 93- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)

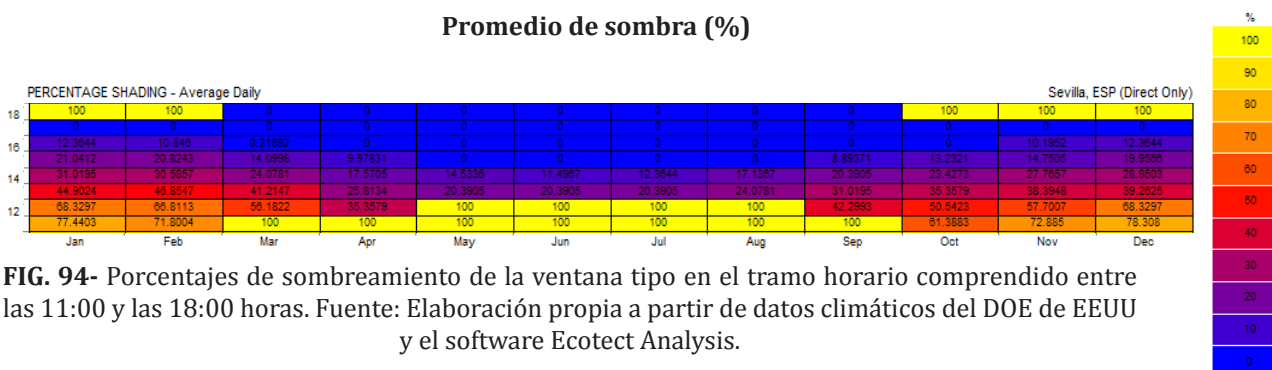


FIG. 94- Porcentajes de sombreamiento de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Observamos porcentajes de sombreamiento de hasta 24%, pero vemos que sigue siendo insuficiente, ya que la ventana percibe valores elevados de radiación en las horas de mayor temperatura exterior: entre 181y 415 Wh/m², de 14:00 a 18:00.

Esto sucede debido a que esta protección vertical solo es eficiente durante las primeras horas de la mañana, cuando el sol está elevándose, ya que el elemento se sitúa al sureste de la ventana.

Podemos decir que la **protección vertical derecha, NO ES EFICIENTE en orientación Suroeste.**

MODELO 5. PROTECCIÓN VERTICAL A LA IZQUIERDA

Radiación solar directa (Wh/m²)

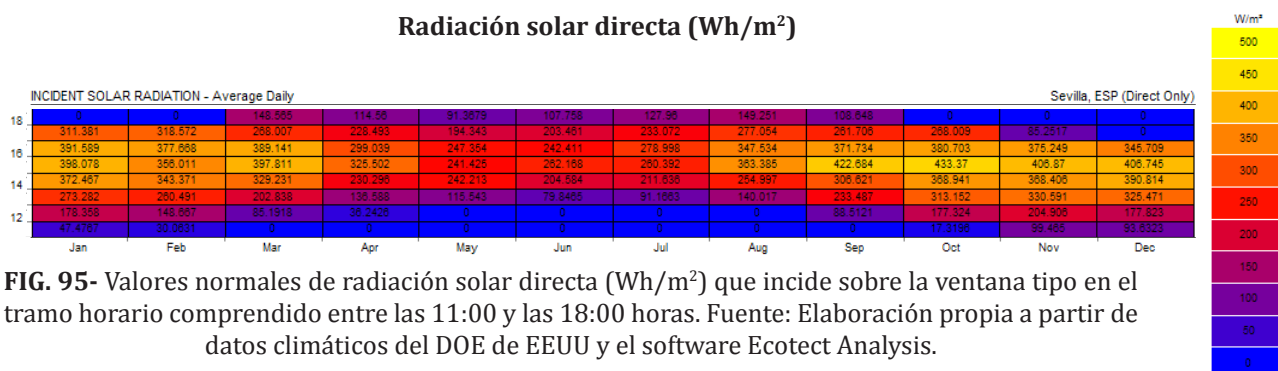


FIG. 95- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG.96- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)

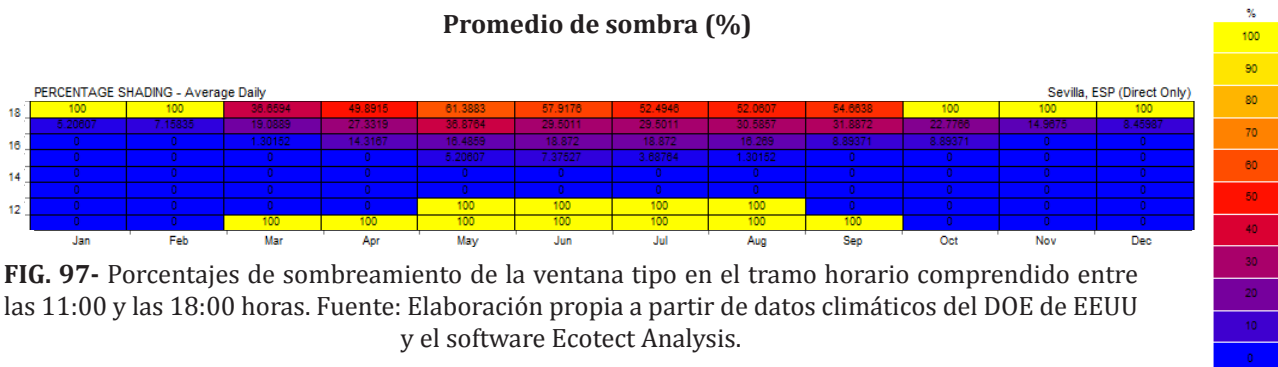


FIG. 97- Porcentajes de sombreadamiento de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

En este caso, al contrario que el anterior, el elemento tendrá más eficacia al final del día, cuando el sol comienza a caer, ya que el elemento vertical se sitúa al noroeste de la ventana.

Observamos porcentajes de sombra de entre el 16 y 57,9% durante los meses de verano, de 16:00 a 18:00h, incrementándose conforme pasan las horas. Pero esto no resulta adecuado, ya que de 13:00 a 16:00h no se percibe sombra alguna y tenemos temperaturas muy altas, junto con altos valores de radiación directa sobre el hueco (hasta 363 Wh/m²).

Podemos decir que la protección vertical izquierda, por sí sola, NO ES EFICIENTE en orientación Suroeste.

E) Resumen de resultados:

Realizamos unas tablas comparativas, entre los diferentes modelos de estudio para analizar, por un lado la radiación mensual (en Wh/m²) que incide en la ventana tipo, y por otro lado, el promedio de sombra sobre la ventana con cada sistema.

Radiación directa sobre ventana tipo (Wh/m ²)					
Mes	Sin protección	Voladizo	Lamas 45º	Vertical derecha	Vertical izquierda
Jan	1990	1378	1380	1461	1973
Feb	1859	1133	1135	1396	1835
Mar	1975	1035	1024	1707	1821
Apr	1621	645	651	1500	1371
May	1600	556	588	1542	1158
Jun	1573	500	550	1533	1139
Jul	1723	548	609	1678	1248
Aug	2032	726	760	1955	1556
Sep	2083	919	924	1873	1793
Oct	2075	1185	1174	1720	1959
Nov	1886	1259	1266	1368	1871
Dec	1740	1238	1250	1181	1740
Verano	1776	591	640	1722	1314

Fig. 98: Tabla comparativa de los valores diarios de incidencia de radiación solar directa sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección. Con un recuadro rojo se limitan los meses de verano. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Promedio de Sombra					
Mes	Sin protección	Voladizo	Lamas 45º	Vertical derecha	Vertical izquierda
Jan	22%	45%	45%	51%	23%
Feb	22%	51%	51%	50%	23%
Mar	36%	66%	66%	49%	42%
Apr	42%	77%	77%	49%	49%
May	46%	80%	79%	49%	62%
Jun	46%	82%	80%	49%	61%
Jul	46%	83%	80%	49%	60%
Aug	46%	79%	78%	49%	60%
Sep	36%	72%	71%	46%	45%
Oct	30%	60%	60%	48%	33%
Nov	22%	46%	46%	47%	24%
Dec	25%	46%	45%	56%	25%

Fig. 99: Tabla comparativa de los porcentajes de sombreado diario sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección. Con un recuadro rojo se limitan los meses de verano. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Tendremos que, en los meses de verano (Junio, Julio y Agosto), el voladizo y las lamas son las protecciones que proporcionan mayor sombra, reduciendo la radiación hasta en 1306 Wh/m² en el mes de Agosto, respecto al modelo sin protección. Los elementos verticales resultan algo más eficientes que en las demás orientaciones, en el caso del colocado a la izquierda obtenemos un 15% más de sombra que con el modelo base. Sin embargo, sigue resultando menos efectivo que los sistemas de voladizo o lamas.

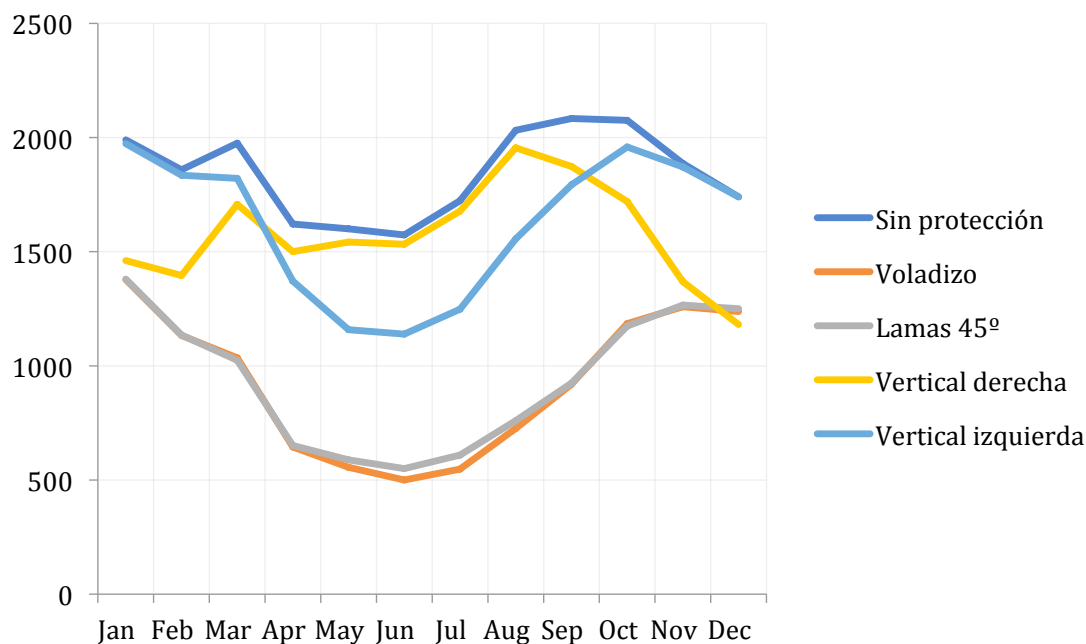


Fig. 100: Gráfica comparativa de los valores diarios de incidencia de radiación solar directa sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

En esta gráfica vemos como la radiación en el modelo con el elemento vertical izquierdo obtiene radiaciones más reducidas que con el colocado a la derecha, teniendo un comportamiento aceptable.

No obstante, los elementos horizontales destacan por encima de los sistemas verticales a la izquierda, reduciendo incluso el doble de radiación que con estos elementos.

En la siguiente tabla se indica la radiación media que incide en la ventana durante los meses de verano, incluyendo el porcentaje que disminuye en cada caso, respecto del modelo sin protección. Realizamos, también una gráfica de barras con estos valores.

	Sin protección	Voladizo	Lamas 45°	Vertical derecha	Vertical izquierda
Radiación en verano (Wh/m²)	1776	591	640	1722	1314
Disminución de la radiación	0%	67%	64%	3%	26%

Fig. 101: Tabla comparativa de los valores de radiación directa media diaria, en verano, sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección y disminución de esta respecto al modelo sin protección. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

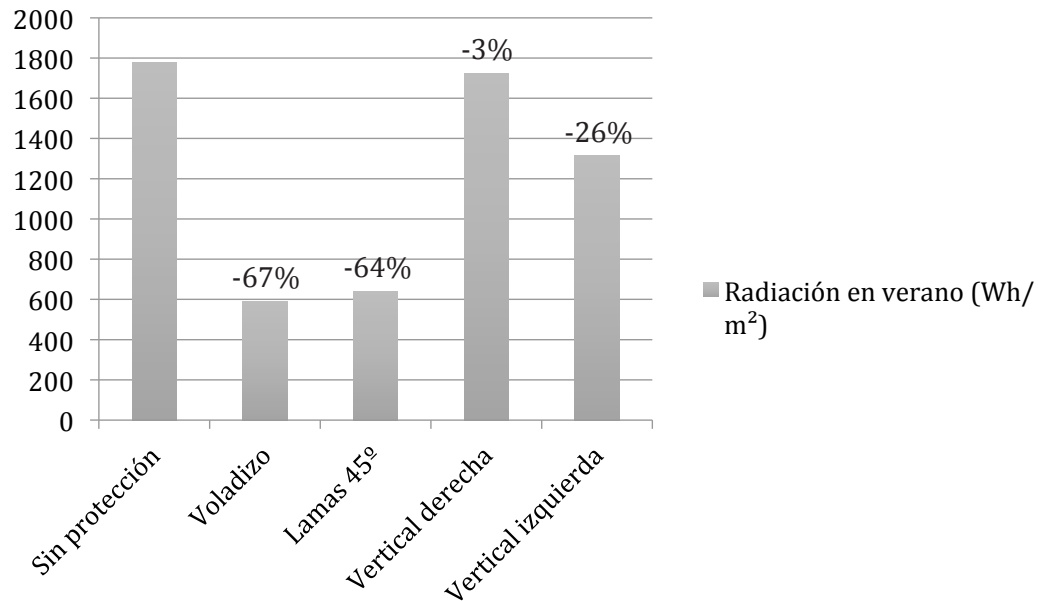



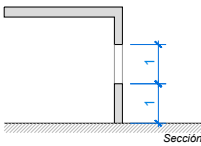
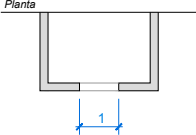

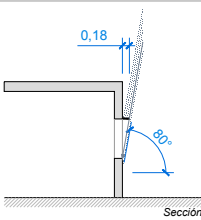
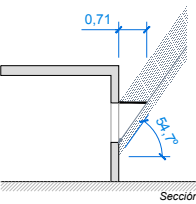

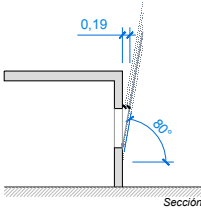
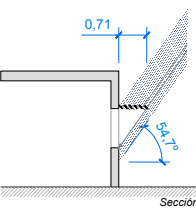

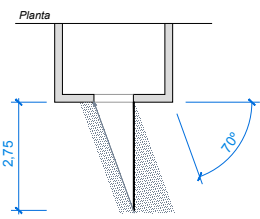
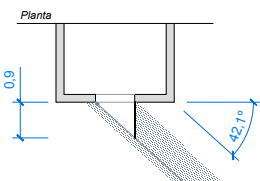



Fig. 102: Gráfica comparativa de los valores de radiación directa media diaria, en verano, sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección y disminución de esta respecto al modelo sin protección. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Podemos observar como podemos reducir hasta en un 67% la radiación producida en verano, utilizando el sistema de voladizo. Resulta ser el más eficiente, pero tan solo un 3% más que el sistema de lamas a 45°.

Por otro lado tenemos a los elementos verticales, que dependiendo de su localización resultan más o menos eficientes. El caso del elemento a la derecha aparece como ineficaz debido a su escasa reducción (3%), mientras que si lo tenemos en el lado izquierdo, aunque es cierto que se trata de un elemento con una dimensión mayor, obtenemos un porcentaje de reducción aceptable (26%).

6.2.5. ORIENTACIÓN OESTE

A) *Cálculo de las dimensiones de los elementos:*

	Tabla de Arias y Ávila (20°N)	Adaptación a latitud 37°N
 SIN PROTECCIÓN		
 VOLADIZO		
 Lamas 45°		
 PROTECCIÓN VERTICAL DERECHO		
 PROTECCIÓN VERTICAL IZQUIERDA		

* Arias y Ávila no proponen ángulos ya que no tienen mucha eficacia. En nuestro caso plantearemos una solución: teniendo en cuenta que en las horas más desfavorables tenemos un ángulo de prácticamente 0°, tendremos que irnos a una hora en la que el ángulo de influencia horizontal no sea mayor de 45°, ya que no tiene sentido que el elemento de protección sea mayor que el hueco a proteger.

**No es necesaria dicha protección ya que, en esta orientación, no recibe radiación directa proveniente de dicha dirección de estudio, en el tramo horario de 11:00 a 18:00h.

***No se realizarán simulaciones de este modelo por sobredimensionado excesivo.

B) *Estudio de las sombras:*

- Carta solar estereográfica con máscara de sombras

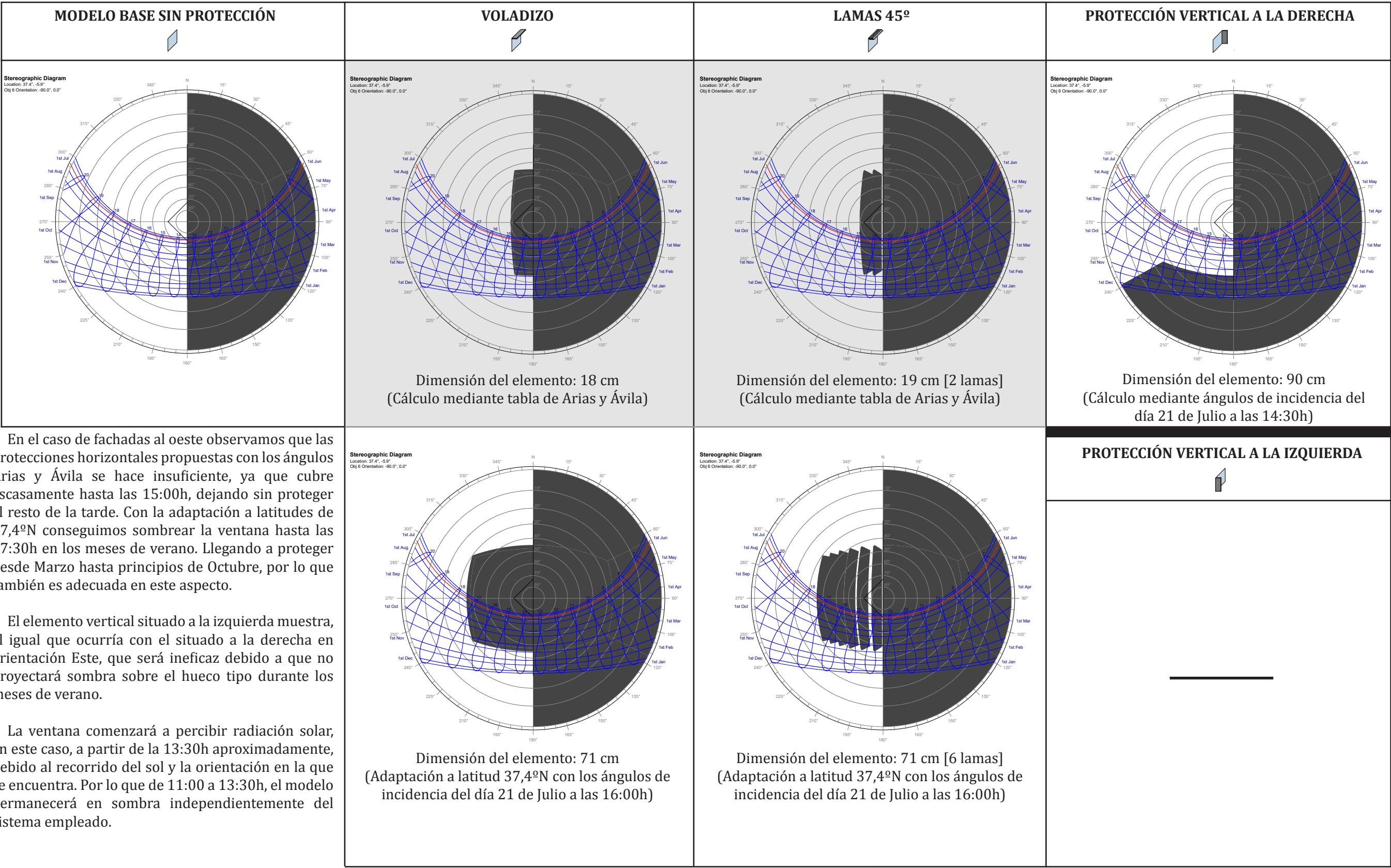


Fig. 103: Tabla comparativa de las cartas solares estereográficas de los diferentes modelos simulados. Con una línea roja se indica el día 21 de Julio, estadísticamente más caluroso. Aparecen en un recuadro sombreado de gris las cartas solares de los modelos obtenidos mediante los cálculos propuestos por Arias y Ávila. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

- **Proyección de sombra sobre la fachada**

Se muestra la evolución de la sombra producida en los diferentes modelos estudiados a lo largo del año, entre las 11:00 y las 18:00h. Consiste en simular la sombra que se produce en los tres días con los que se puede resumir el recorrido solar: solsticio de invierno (21 de Diciembre), equinoccios (21 de Marzo y 21 de Septiembre) y solsticio de verano (21 de Junio).


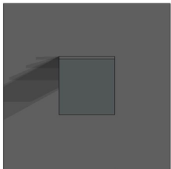
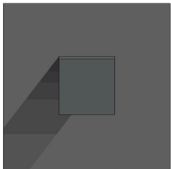
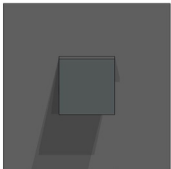

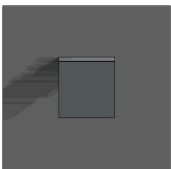
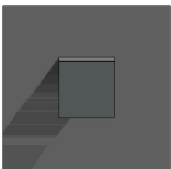
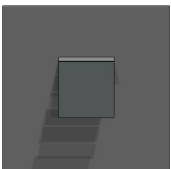

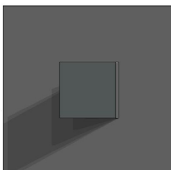
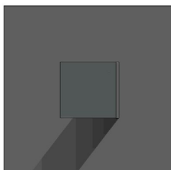
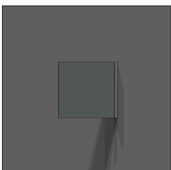




	Solsticio de invierno 21 de Diciembre	Equinoccios 21 de Marz., 21 de Sept.	Solsticio de verano 21 de Junio
 VOLADIZO			
 Lamas 45°			
 PROTECCIÓN VERTICAL DERECHO			
 PROTECCIÓN VERTICAL IZQUIERDA			

Fig. 104: Tabla comparativa de las sombras proyectadas por los diferentes elementos sombreadores de estudio durante los solsticios y equinoccios, entre las 11:00h y las 18:00h. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

C) *Exposición a la radiación solar:*

Se va analizar la radiación solar directa percibida por la fachada en los meses de verano, entre las 11:00h y las 18:00h, para obtener así una primera idea de la efectividad de estos sistemas de protección solar.

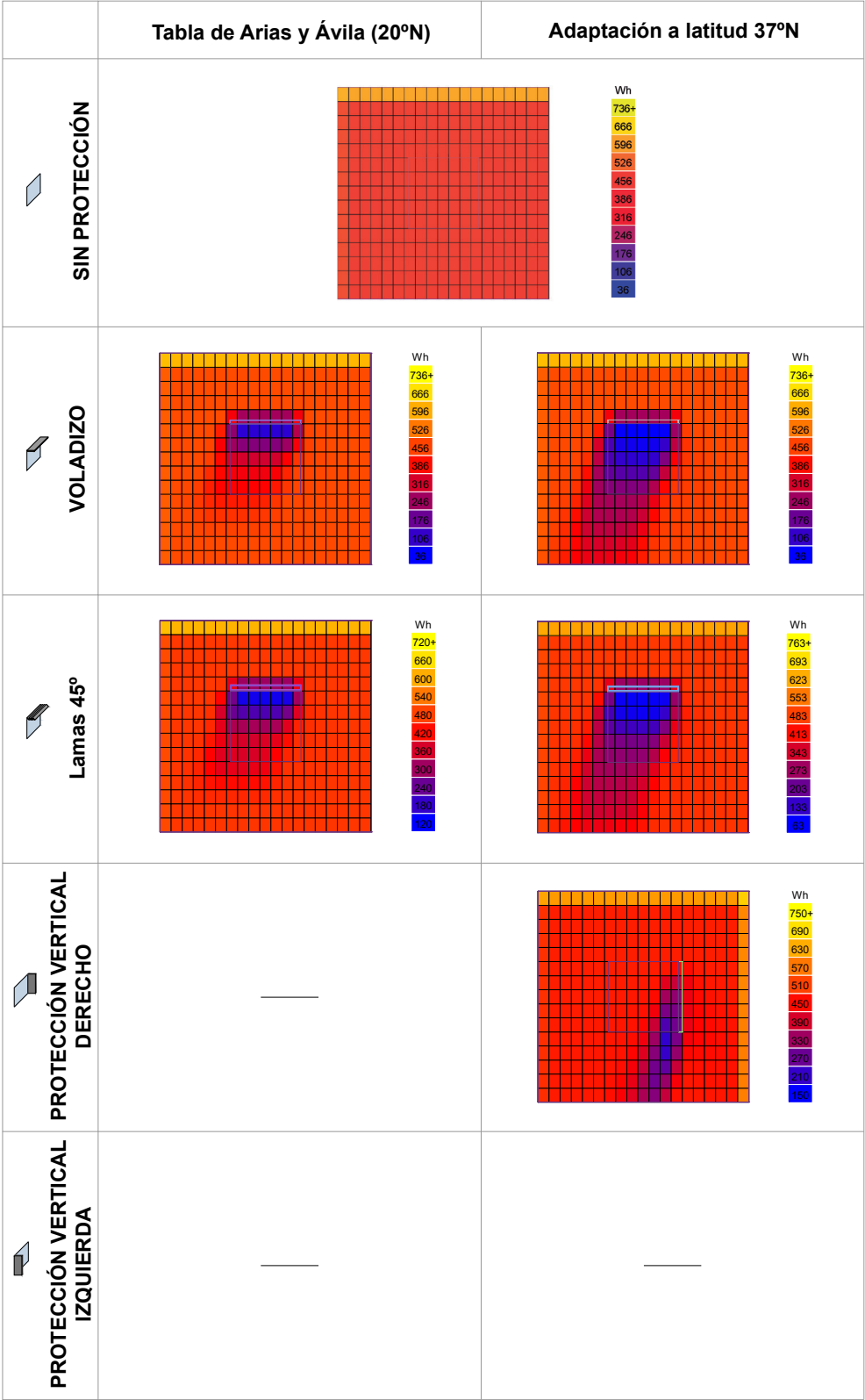


Fig. 105: Tabla comparativa de la radiación directa sobre fachada del 01Jn. al 31Ag., entre las 11:00h y las 18:00h. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Podemos observar que la dimensión de protección horizontal obtenida mediante el ángulo de Arias y Ávila para esta orientación, no es suficiente, ya que la radiación que evita es muy escasa. Los modelos adaptados muestran una gran mejora, evitando la mayoría de la radiación solar directa.

El análisis de la incidencia normal de radiación solar a lo largo del año sobre la ventana tipo lo haremos directamente sobre el modelo adaptado.

D) Evaluación Radiación solar - Temperatura actual - Sombreamiento:

Con este análisis observaremos la relación directa que tendremos entre la radiación solar directa sobre la ventana (Wh/m^2), las temperaturas exteriores ($^{\circ}\text{C}$) y el porcentaje de sombra (%). Se realizará teniendo las tres tablas consecutivas, por cada modelo, para poder realizar una rápida comparación entre ellas.

Esto nos ayudará a comprender y verificar si el elemento sombreador está siendo eficiente o no, dependiendo de si proyecta una sombra adecuada durante las horas más calurosas de cada mes y evita una radiación solar suficiente.

La forma de proceder será igual que en la orientación anterior.

MODELO 1. SIN PROTECCIÓN

Radiación solar directa (Wh/m²)

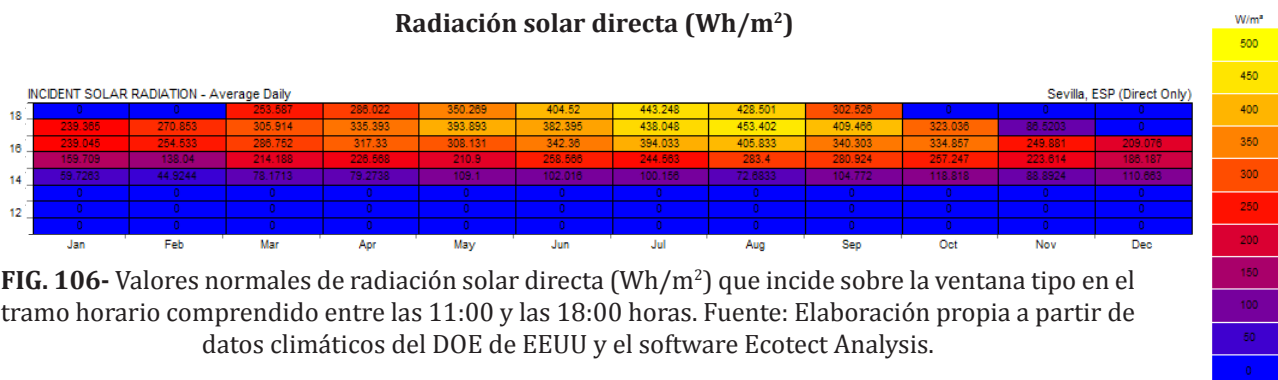


FIG. 106- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 107- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)

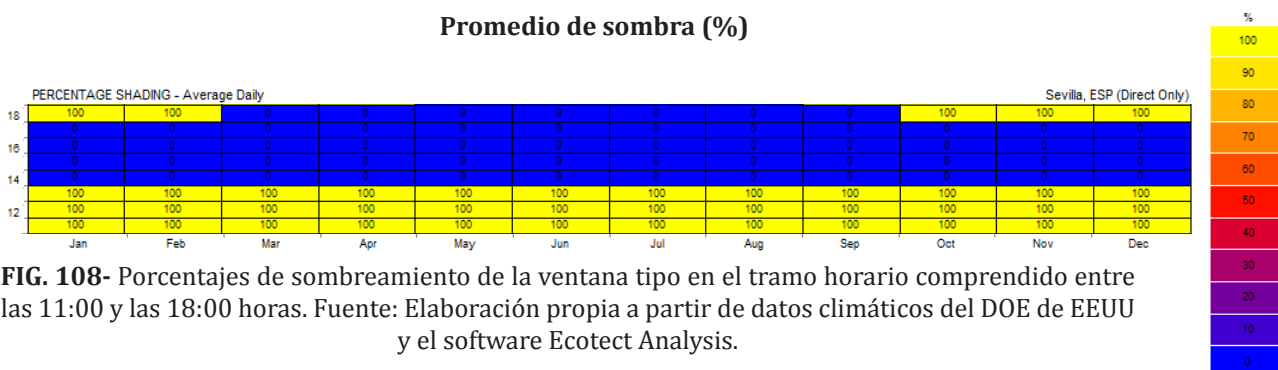


FIG. 108- Porcentajes de sombreado de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

En el modelo base, y para esta orientación, observamos que el hueco quedará totalmente en sombra hasta las 14:00h, debido al recorrido solar. De esta forma se evita radiación directa durante estas primeras horas con altas temperatura exterior.

Aun así tendremos valores importantes de radiación (de 100 a 453 Wh/m²) de 14:00 a 18:00h. Por lo tanto, estas horas deben de contar con un porcentaje de sombra adecuado para evitar estos valores de radiación tan elevados. Comprobaremos si estos son o no adecuados con los sistemas de protección estudiados.

MODELO 2. VOLADIZO

Radiación solar directa (Wh/m²)

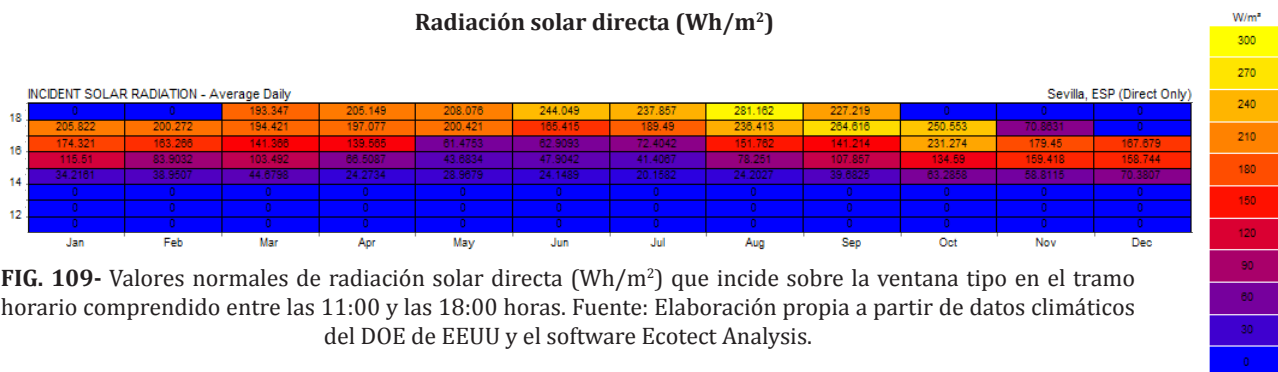


FIG. 109- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 110- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)

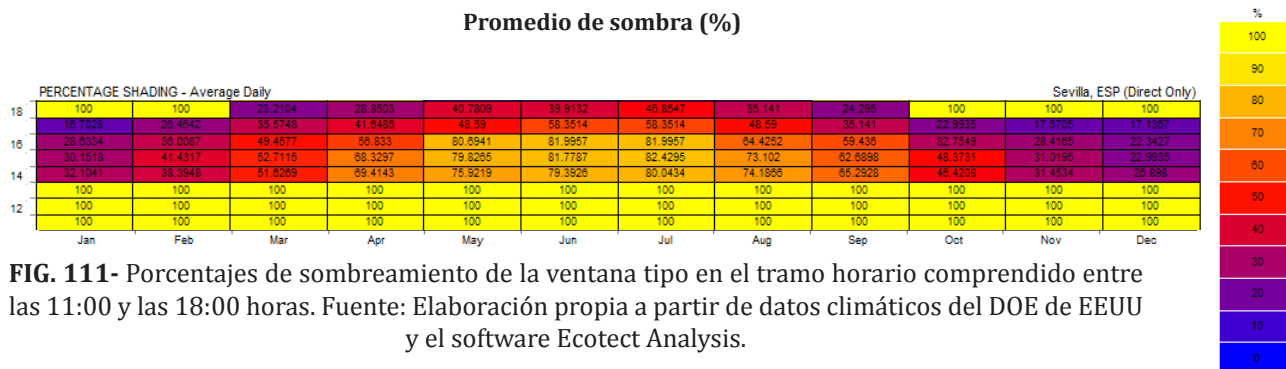


FIG. 111- Porcentajes de sombreadamiento de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Con el sistema de voladizo se logra un sombreadamiento adecuado en esta orientación, reduciendo los valores de radiación en, al menos, la mitad, durante los meses de verano. Se llega a observar valores por encima de los 200 Wh/m² en las últimas horas, de 16:00 a 18:00h. Hasta este momento, tenemos baja presencia de radiación directa, coincidiendo con las temperaturas más altas, por lo que teniendo esto en cuenta, y los valores que arrojaba el modelo base, consideramos adecuada esta protección.

MODELO 3. PÉRGOLA CON LAMAS A 45º

Radiación solar directa (Wh/m²)

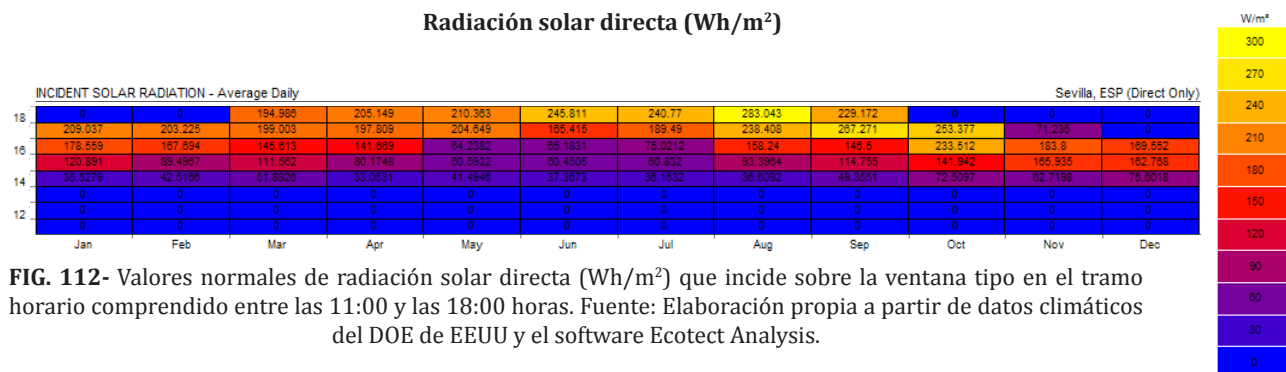


FIG. 112- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 113- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)

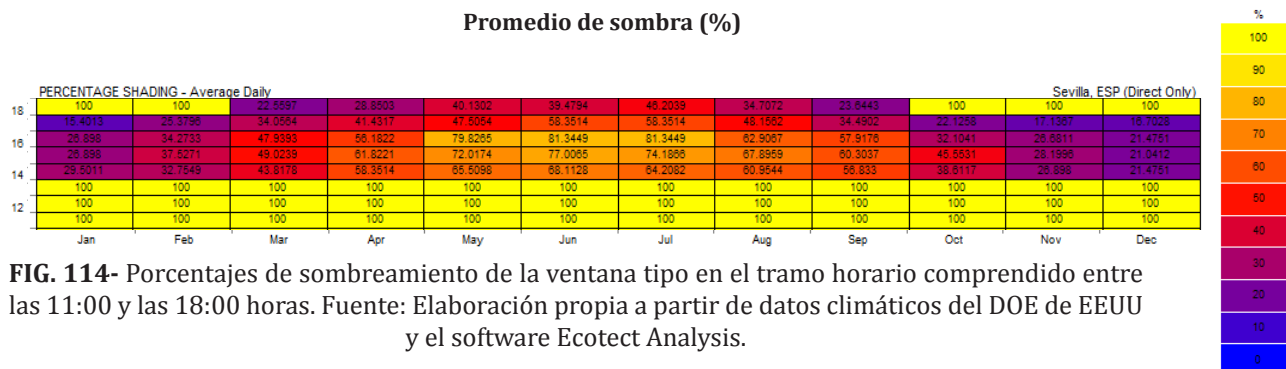


FIG. 114- Porcentajes de sombreado de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Con valores de sombra muy similares a los obtenidos con el modelo de voladizo, obtenemos prácticamente el mismo resultado: valores de radiación por encima de los 200 Wh/m² 16:00 a 18:00h. Hasta este tramo, los valores de radiación son bajos, coincidiendo con las temperaturas más altas. Por lo que, teniendo en cuenta esto y los valores que tenemos en el modelo base, consideraremos adecuada esta protección.

MODELO 4. PROTECCIÓN VERTICAL A LA DERECHA

Radiación solar directa (Wh/m²)

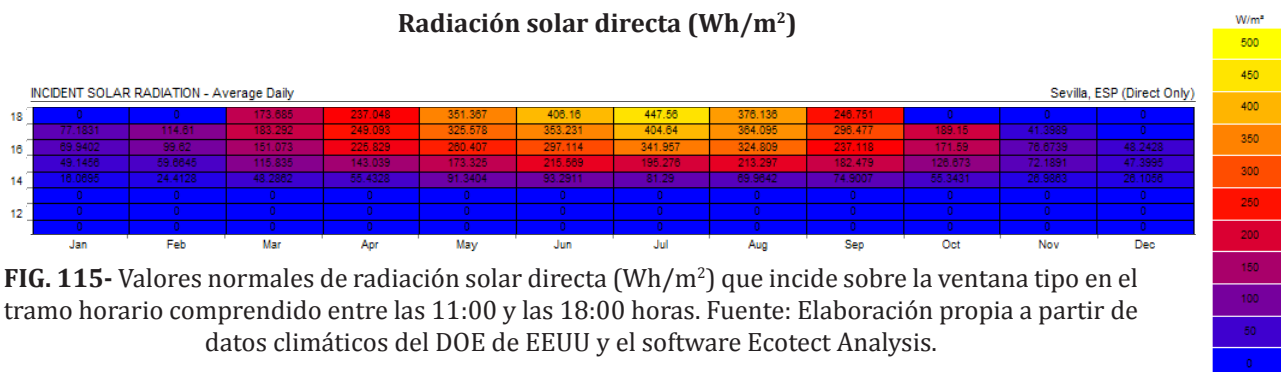


FIG. 115- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Temperatura exterior (°C)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	14,0	15,8	18,5	20,6	24,5	28,8	32,9	32,6	29,1	23,1	17,1	14,2
17:00	15,4	17,3	20,0	22,1	26,1	30,4	34,6	34,4	31,0	24,9	18,6	15,4
16:00	16,4	18,1	21,0	23,0	27,1	31,3	35,6	35,4	32,1	26,1	19,9	16,7
15:00	16,6	18,2	21,1	23,1	27,3	31,5	35,7	35,6	32,4	26,6	20,4	17,1
14:00	16,0	17,4	20,4	22,6	26,9	31,0	35,0	35,0	31,9	26,3	20,1	16,5
13:00	14,5	16,0	18,9	21,4	25,6	29,7	33,6	33,5	30,4	25,0	19,0	15,3
12:00	12,5	14,1	16,9	19,6	23,9	27,9	31,5	31,2	28,4	23,1	17,1	13,5
11:00	10,5	12,0	14,7	17,5	21,8	25,8	29,0	28,6	26,0	20,7	15,0	11,4

Temperaturas superiores a 26°C

FIG. 116- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Promedio de sombra (%)

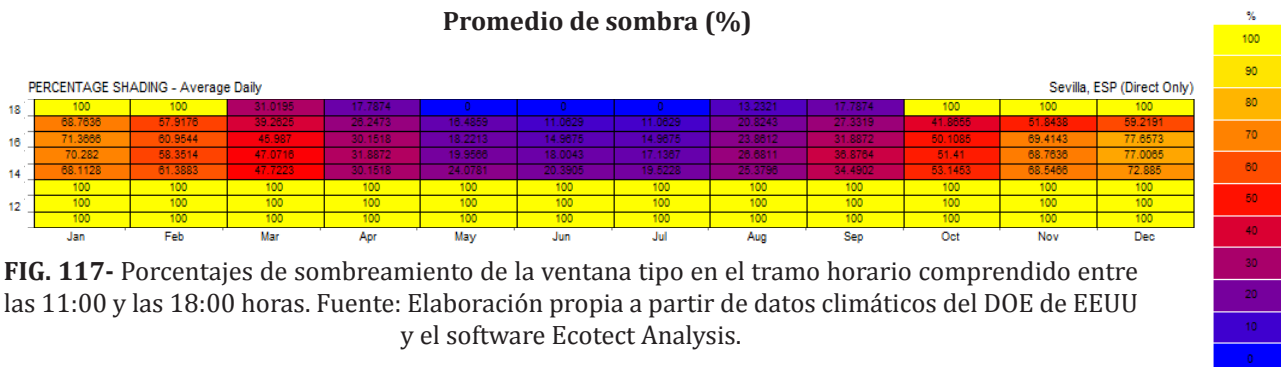


FIG. 117- Porcentajes de sombreadamiento de la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

Observamos que este sistema arroja porcentajes de sombra insuficientes en los meses de verano, comprendidos entre 11 y 26% de sombreadamiento. Como consecuencia obtenemos valores de radiación muy elevados, hasta 447 Wh/m² en Julio, en momentos con temperaturas exteriores muy altas. Por lo tanto, podemos decir que **este sistema NO ES EFICIENTE en orientación Oeste.**

E) Resumen de resultados:

Mostramos unas tablas comparativas, entre los diferentes modelos de estudio para analizar conjuntamente la comparación de radiación mensual (en Wh/m²) que incide en la ventana tipo, y el promedio de sombra sobre la ventana en cada modelo.

Radiación directa sobre ventana tipo (Wh/m ²)					
Mes	Sin protección	Voladizo	Lamas 45º	Vertical derecha	Vertical izquierda
Jan	707	530	544	212	-
Feb	734	486	503	298	-
Mar	1144	677	703	672	-
Apr	1239	633	658	910	-
May	1674	771	810	1479	-
Jun	1864	788	819	1696	-
Jul	2020	849	891	1849	-
Aug	1941	960	1000	1585	-
Sep	1460	781	807	1038	-
Oct	1048	680	701	543	-
Nov	654	469	484	217	-
Dec	518	397	408	122	-
Verano	1942	866	903	1710	-

Fig. 118: Tabla comparativa de los valores diarios de incidencia de radiación solar directa sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección. Con un recuadro rojo se limitan los meses de verano. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Promedio de Sombra					
Mes	Sin protección	Voladizo	Lamas 45º	Vertical derecha	Vertical izquierda
Jan	56%	68%	67%	87%	-
Feb	56%	71%	70%	82%	-
Mar	55%	74%	72%	74%	-
Apr	58%	80%	79%	70%	-
May	54%	80%	79%	60%	-
Jun	54%	82%	81%	59%	-
Jul	54%	83%	81%	59%	-
Aug	54%	78%	76%	62%	-
Sep	55%	77%	76%	68%	-
Oct	60%	75%	74%	80%	-
Nov	56%	68%	67%	84%	-
Dec	62%	72%	70%	91%	-

Fig. 119: Tabla comparativa de los porcentajes de sombreado diario sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección. Con un recuadro rojo se limitan los meses de verano. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Como para las cuatro orientaciones anteriores, vemos que, en los meses de verano, los sistemas horizontales son los que proporcionan mayor sombra, reduciendo la radiación en cerca de 12000 Wh/m² en Julio. La protección vertical derecha evita un máximo de 356 Wh/m² en verano, debido a que su porcentaje de sombra sobre el hueco aumenta en un 8% del modelo base. Con el voladizo, en cambio, aumenta hasta un 29%.

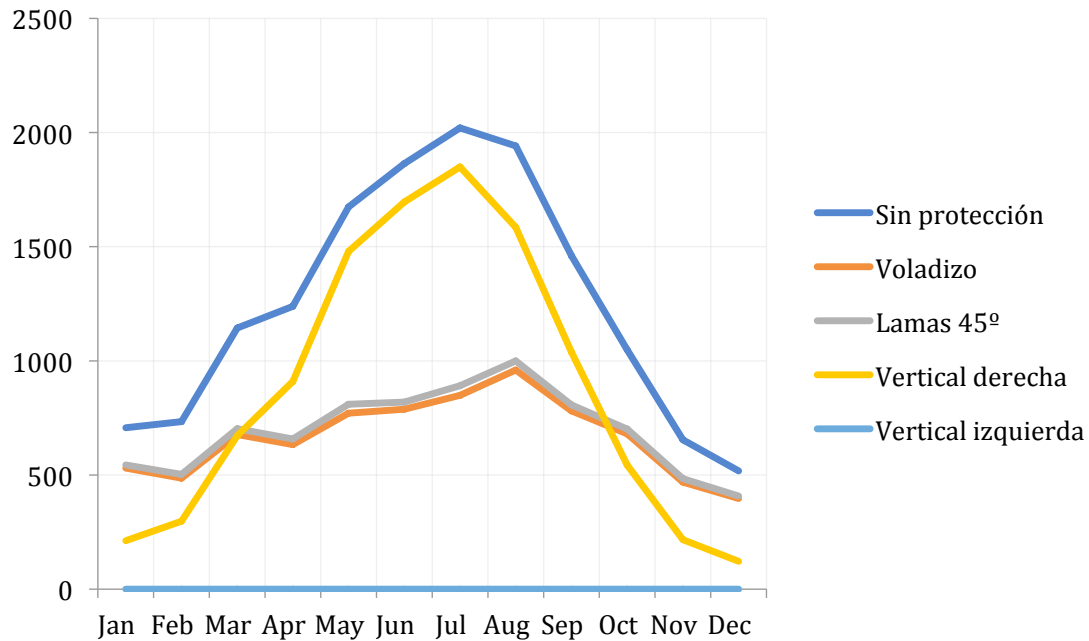


Fig. 120: Gráfica comparativa de los valores diarios de incidencia de radiación solar directa sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Observamos que en este caso, los modelos con voladizo o lamas se desmarcan, durante los meses de verano, con una gran diferencia de radiación respecto al modelo con el elemento vertical a la derecha. Este ultimo elemento evita una gran cantidad de radiación durante los meses de invierno, incluso más del doble que los sistemas horizontales, factor que juega en su contra para su eficiencia.

En la siguiente tabla se indica la radiación normal que incide en el hueco tipo durante los meses de verano, incluyendo el porcentaje que disminuye en cada caso, respecto del modelo sin protección.

	Sin protección	Voladizo	Lamas 45°	Vertical derecha	Vertical izquierda
Radiación en verano (Wh/m²)	1942	866	903	1710	-
Disminución de la radiación	0%	55%	53%	12%	-

Fig. 121: Tabla comparativa de los valores de radiación directa media diaria, en verano, sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección y disminución de esta respecto al modelo sin protección. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

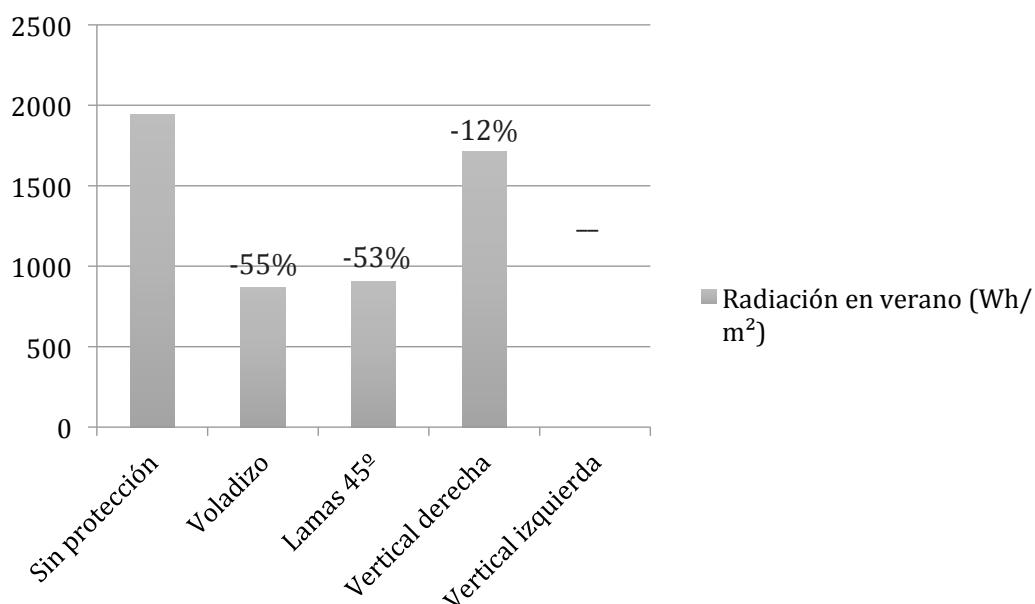


Fig. 122: Gráfica comparativa de los valores de radiación directa media diaria, en verano, sobre ventana tipo con diferentes elementos de protección y disminución de esta respecto al modelo sin protección. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

También para esta orientación, el voladizo logra reducir en más de la mitad el valor de radiación media en verano, exactamente en un 55%. En el caso de los modelos con lamas a 45° también resultan muy eficientes, con un 53% de reducción, similar al modelo de voladizo.

El elemento vertical por su parte, consigue un 12% de reducción, resultando más eficiente que en otras orientaciones.

7. ANÁLISIS DE MATERIALES

“En el proceso de diseño, la selección de materiales se debe hacer bajo la óptica de la sostenibilidad y no solamente por motivaciones estéticas y económicas” (Rocha Tamayo, E., 2011).

Una de las decisiones que se toma a la hora de proyectar es la elección de materiales a emplear en la futura construcción. Pero en esta elección son pocas las veces en las que afecta el factor de sostenibilidad, en la mayor parte de los casos se determina por factores estéticos, costes, características estructurales, etc.

Pero para obtener un modelo teórico eficiente en todos los aspectos es indispensable realizar un estudio de los posibles materiales a emplear, comparando su durabilidad, futuro mantenimiento, facilidad de puesta en obra y su energía incorporada. Abarcando, de este modo, todas las facetas necesarias para completar el perfil teórico final de dicho elemento de sombra.

Tenemos que ser conscientes del impacto final que supone utilizar un determinado material para poder reducirlo, ya que, según la UNEP (2007), la construcción de edificios supone un aporte cercano al 40% de las emisiones de GEI.

Como parte complementaria del diseño es necesario considerar que la extracción de materias primas y los procesos industriales para la fabricación de materiales de construcción generan un daño al medio ambiente que es cuantificable y ,por lo tanto, debe ser estudiado en el proyecto para poder reducirse al máximo.

Otro factor muy importante para determinar la eficiencia de un material es la facilidad de ser reciclado, una vez finalizada la vida útil del edificio, transformando el elemento en materia prima para la fabricación de nuevos productos.

De esta forma, para obtener un modelo teórico más eficiente es indispensable realizar un estudio del ciclo de vida de los posibles materiales a emplear, comparando su durabilidad, mantenimiento, energía incorporada, etc.

Podemos decir que, teniendo en cuenta el diseño, y en función de los materiales empleados en el proyecto se puede lograr una mayor eficiencia energética, que representa uno de los pilares de la construcción sostenible, al reducir el impacto ambiental.

MATERIALES LOCALES

Para considerar el factor de materiales locales, se debe conocer la distancia entre la nueva edificación, las posibles extracciones de materias primas y su posterior proceso de producción. De esta forma podrá escogerse las localizaciones más cercanas a la obra, reduciendo el impacto por transportes de materiales.

En nuestro caso no será posible precisar este factor debido a que estamos teorizando un modelo válido para multitud de localizaciones (latitudes intermedias), aun así podemos exponer algunos consejos que se deberían tener en cuenta.

Algunas certificaciones de construcción sostenible como el LEED (creado por el Consejo de Construcción Sostenible de EEUU) establecen un radio de 500 millas (804,67 Km) como distancia máxima que ha de haber para considerarlos materiales locales. (USGBC, 2009. p.379).

Otros sistemas de certificación, como el inglés BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) también tiene muy en cuenta la utilización de materiales locales con el objetivo de reducir todo lo posible las emisiones de CO₂ al transportar los materiales desde su producción hasta la obra.

No se trata de una medida proteccionista, evidentemente también es necesario utilizar materiales procedentes de otros lugares, pero ha de reducirse siempre y cuando sea posible.

MATERIALES RENOVABLES

Son aquellos productos que son producidos con materias primas cultivables o de crianza animal como la madera, el cuero, fibras vegetales y animales, etc.

Es necesario tener en cuenta la producción de estos materiales para poder garantizar que no se agoten los recursos naturales de los que provienen. Por ejemplo, una utilización no controlada de extracción de madera puede llevar a deforestaciones, por lo que no estaríamos hablando de materiales renovables.

De este modo, existen certificados que garantizan una adecuada producción de materiales. Es el ejemplo de FSC (Forest Stewardship Council), que acredita, a nivel internacional, que los productos de madera proceden de bosques cultivados y controlados para su explotación, garantizando la no deforestación. Así se garantiza una continuidad de renovación.

RECICLAJE DE MATERIALES

En los últimos años se han desarrollado nuevas técnicas de reciclado más o menos complejas, dependiendo de los materiales a reciclar, por lo que a día de hoy es posible reciclar la mayoría de los materiales de construcción, a excepción de productos compuestos como elementos reforzados con fibra de vidrio, caucho con fibra de acero, etc.

Los materiales metálicos, ya sean férreos o no, son fáciles de reciclar, ya que consiste simplemente en fundir el metal y volver a obtener nuevos elementos. Este reciclaje supone, en el caso del acero, un ahorro de hasta el 70% de la energía necesaria en un proceso de producción desde cero. En el caso de aluminio puede llegar hasta un 95% de ahorro.

El reciclaje de vidrio y polímeros también supone una reducción considerable del gasto de energía respecto a la producción de nuevos elementos. Con los polímeros, también evita más consumo de petróleo.

En el caso del hormigón, la fábrica de ladrillo y otros materiales pétreos, su reciclaje consiste en la trituración para usarlos como agregados o bases de rellenos en otras construcciones. Realmente el reciclado de estos materiales no supone un ahorro de energía importante, ya que *“el triturado supone un gasto de energía igual o mayor a la producción inicial de estos materiales”* (Bedoya, 2003), pero se justifica al conseguir una reducción de impacto ambiental por la extracción minera.

“El uso de materiales reciclables y/o materiales reciclados es una de las principales estrategias para reducir el impacto ambiental causado por la producción de materiales” (R.T., Eduardo, 2011).

DURABILIDAD DE LOS MATERIALES

Este factor es uno de los factores más importantes para la sostenibilidad, ya que afecta a otros factores como el reciclaje o reutilización, a parte de representar la vida útil del edificio. De esta forma, los elementos de mayor durabilidad supondrán una vida útil prolongada para la edificación.

La durabilidad se rige por la resistencia a la abrasión, al agua, al viento, a la radiación solar, etc.

Materiales como la piedra y el ladrillo han demostrado su durabilidad en construcciones muy antiguas que siguen funcionando a día de hoy. Pero no todos los tipos de piedra o ladrillos tienen la misma durabilidad, la arenisca tienen menos durabilidad que los granitos naturales, por ser desgranables.

A continuación mostraremos una tabla valorando la pérdida de durabilidad de nueve posibles materiales que podrían ser empleados en para la fabricación de un elemento sombreador.

MATERIALES	PÉRDIDA DE DURABILIDAD				
	POR ABRASIÓN	POR AGUA	POR VIENTO	POR RADIACIÓN SOLAR	OTROS
Hormigón	BAJA	MUY BAJA	MUY BAJA	NULA	Ambientes ácidos o salinos
Acero inoxidable	MUY BAJA	MUY BAJA	MUY BAJA	NULA	-
Acero galvanizado/Prelacado	MUY BAJA	MUY BAJA	MUY BAJA	NULA	Pérdida de recubrimiento
Aluminio	BAJA	MUY BAJA	BAJA	NULA	-
Fibrocemento	BAJA	MUY BAJA	BAJA	NULA	-
Compuestos Madera/Cemento	MUY BAJA	MUY BAJA	MUY BAJA	BAJA	Rotura por impacto
Madera	BAJA	MEDIA	BAJA	ALTA	-
HPL	BAJA	BAJA	BAJA	ALTA	Laminación
Composites	BAJA	BAJA	BAJA	ALTA	-

Fig. 123- Tabla de la pérdida de durabilidad de los materiales. Fuente: elaboración propia.

Obtenemos que el orden, de mejor a peor durabilidad de cada material, según la pérdida de durabilidad tenida en cuenta, es el siguiente: Acero inoxidable, acero galvanizado/prelacado, aluminio, fibrocemento, hormigón, Compuestos de madera/cemento, composites, HPL y madera.

DENSIDAD Y CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL MATERIAL

Para poder hacer una correcta valoración del material, realizaremos también un análisis de la densidad de los materiales para ser conscientes del peso que finalmente tendrían los elementos de protección. Junto a la densidad estudiaremos la conductividad térmica, para valorar las futuras transmisiones de calor que tendrá con la fachada dependiendo del material.

Son dos factores muy importantes, de los cuales mostraremos los valores de cada material estudiado en la siguiente tabla:

MATERIALES	DENSIDAD (kg/m ³)	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/m·K)
Hormigón	2300	2,3
Acero inoxidable	7900	17
Acero galvanizado/Prelacado	7800	50
Aluminio	2700	230
Fibrocemento	200 - 1000	0,07 - 0,2
Compuestos Madera/Cemento	< 1200	0,23
Madera	200 - 870	0,057 - 0,29
HPL	< 650	0,13
Composites	< 650	0,13

Fig. 124- Tabla de densidades y conductividad térmica propis de cada material. Fuente: elaboración propia, a partir de los datos del CTE.

MANTENIMIENTO DE LOS MATERIALES

Todos los materiales empleados en construcción van a requerir de mantenimiento ya sea en mayor o menor medida. Este mantenimiento consistirá en su limpieza, reparaciones menores o reposiciones de elementos deteriorados.

Estos procesos conllevan gastos energéticos, consumo de agua, generación de residuos y contaminación con agentes químicos.

Para reducir el futuro impacto ambiental durante la vida útil del edificio, es indispensable prever, desde el desarrollo inicial del proyecto, como será el futuro mantenimiento de cada parte. Tendremos algunas características y exigencias que decantarán la balanza a favor de algunos materiales, en función de su utilización o circunstancias a las que estarán expuestos:

- Materiales resistentes a los rayos UV como el hormigón, la piedra o el ladrillo frente a materiales plásticos o pinturas.
- Materiales metálicos protegidos contra la corrosión frente a los no protegidos.
- Materiales fácilmente limpiables, como los cerámicos o porcelanatos, o fácil de pulir como la madera.
- Materiales que no necesiten grandes cantidades de agua para su mantenimiento, es decir, que no retengan polvo, humedad o mugre.
- Materiales que no exijan de productos químicos o equipos pesados para su limpieza.
- Materiales provenientes de vegetación, como fibras vegetales o madera, necesitan un mantenimiento especial, a parte de un correcto y preciso proceso constructivo que garantice el adecuado comportamiento del material.

“Los materiales rápidamente renovables como la guadua, el bambú, el kenaf y la madera requieren de tratamientos iniciales y mantenimiento periódico mayor que el ladrillo o la piedra” (Induguadua, 2005).

ENERGÍA INCORPORADA

La energía incorporada es un parámetro de cada material o producto que indica la energía consumida, en unidades de MJ (mega julios) o W (vatios), teniendo en cuenta desde la extracción de la materia prima hasta el transporte, incluyendo los procesos de transformación, si los tiene. Resulta muy útil para obtener las emisiones de CO₂ a la atmósfera, normalmente medidas en toneladas de CO₂.

$$\begin{array}{|l} \text{Energía} \\ \text{Incorporada} \\ \text{del Edificio} \end{array} = \begin{array}{|l} \text{Energía utilizada durante la} \\ \text{construcción} \\ + \\ \text{Energía incorporada de cada} \\ \text{material utilizado} \end{array}$$

Este factor es parte fundamental de la valoración de Ciclo de Vida, LCF (Life Cycle Assessment), y ya se han realizado multitud de mediciones de energía incorporada de los materiales más comunes. En la tabla de la Fig. XX de muestran algunos de ellos.

Los metales, sobre todo el aluminio y el cobre, son los materiales de mayor Energía Incorporada, superando los 600.000 MJ/m³, mientras que la piedra y la tierra cruda son los de menor E.I., por debajo de los 2.500 MJ/m³.

La madera, el hormigón y el ladrillo tienen una E.I. media-baja, entre 3.800 y 14.800 MJ/m³. Por otro lado, algunos polímeros llegan a superar los 100.000 MJ/m³.

Como se puede apreciar la E.I. va ligada al volumen del elemento, por lo que mientras más liviano se pueda realizar el elemento con el material elegido, menor impacto ambiental producirá.

ENERGÍA INCORPORADA DE LOS MATERIALES

MATERIAL	MJ/m ³
Paja	30,5
Agregados de río	36,0
Agregados de cantera	63,0
Arena	232
Adobe, estabilizado con bituminosa	490
Adobe, estabilizado con cemento	710
Bloque de tierra prensado	810
Piedra local	2.030
Poliestireno expandido	2.340
Concreto, 40 MPa	3.890
Ladrillo cerámico	5.170
Teja cerámica	5.250
Madera contrachapada	5.720
Asfalto	7.140
MDF	8.330
Fibro-cemento	13.550
Ladrillo cerámico vitrificado	14.760
Cemento	15.210
Aluminio reciclado	21.870
Papel	33.670
Acero reciclado	37.210
Vidrio endurecido	37.550
Vidrio laminado	41.080
Poliuretano	44.400
Polipropileno	57.600
Caucho de látex natural	62.100
Vidrio endurecido	66.020
Acero reciclado, reforzado, seccionado	69.790
PVC	93.620
Pisos de vinilo	105.990
Pinturas con base en agua	115.000
Aluminio reciclado, extruido y anodizado	115.830
Caucho sintético	118.800
Pinturas con base en solventes	127.500
Linóleo	150.930
Acero estructural	274.570
Zinc	371.280
Aluminio, extruido, anodizado	612.900
Cobre	631.164

Fig. 125- Tabla de la Energía Incorporada de cada material en MJ/m³. Fuente: Victoria University of Wellington, Nueva Zelanda.

Una vez presentados todos los factores que tendremos en cuenta a la hora de elegir el material para la “fabricación teórica” del elemento sombreador, el siguiente paso es realizar un ranking, de los elementos, según el factor y, posteriormente, un ranking general, obteniendo el material más eficiente según los factores estudiados y para el uso específico.

VALORACIÓN DE EFICIENCIA DE LOS MATERIALES						
RANKING DE EFICIENCIA POR FACTOR						RANKING GENERAL
ENERGÍA INCORPORADA	RECICLAJE	RENOVABLES	MANTENIMIENTO	DURABILIDAD	PESO Y COND. TÉRMICA	
Madera	Acero inoxidable	Madera	Acero inoxidable	Acero inoxidable	Madera	Acero inoxidable
Hormigón	Acero galvanizado/Prelacado	-	Acero galvanizado/Prelacado	Acero galvanizado/Prelacado	Fibrocemento	Madera
Compuestos Madera/Cemento	Aluminio	-	Aluminio	Aluminio	Composites	Acero galvanizado/Prelacado
HPL	Composites	-	Composites	Fibrocemento	HPL	Aluminio
Fibrocemento	Madera	-	Hormigón	Hormigón	Compuestos Madera/Cemento	Fibrocemento
Acero inoxidable	HPL	-	Compuestos Madera/Cemento	Compuestos Madera/Cemento	Acero inoxidable	Compuestos Madera/Cemento
Acero galvanizado/Prelacado	Compuestos Madera/Cemento	-	Fibrocemento	Composites	Acero galvanizado/Prelacado	Composites
Aluminio	Fibrocemento	-	HPL	HPL	Aluminio	HPL
Composites	Hormigón	-	Madera	Madera	Hormigón	Hormigón

Fig. 126- Tabla de clasificación de los materiales según su eficiencia en cada factor estudiado, y en general. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, **tenemos que el material más eficiente es el acero inoxidable**, seguido de la madera (debido, en gran medida, a ser material renovable y contar con una conductividad térmica muy baja) y el acero galvanizado. En una posición intermedia quedan el aluminio, fibrocemento y los compuestos madera/cemento. Como menos eficientes acabamos teniendo a los composites, HPL y, por último, el hormigón será el peor material, de los analizados, para realizar los elementos de protección.

8. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL PROTOTIPO TEORICO

PARÁMETRO 1: TIPOLOGÍA DEL ELEMENTO SOMBREADOR

Orientación Este

Para fachadas orientadas al Este, se comprueba que **los elementos de protección más eficientes son los horizontales**, con una reducción de la radiación de 1368 Wh/m² (53%) en el caso de voladizo, y 1328 Wh/m² (52%) en el caso de lamas a 45°. La reducción con la protección vertical es mínima, 162 Wh/m² (6%), con una dimensión de 90 cm.

La dimensión de protección horizontal calculada para el hueco estudiado de 1m x 1m es de **71cm**. Para extrapolar a huecos con otras dimensiones, el ángulo de calculo sería **54,7°**.

Orientación Sureste

En el caso de fachadas con orientación Sureste, **seguimos teniendo a las protecciones horizontales con clara ventaja respecto a las verticales**, siendo la eficiencia de estas últimas prácticamente nula, 25 Wh/m² (1%) de reducción de la radiación, frente a los 1223 (58%) y 1176 Wh/m² (56%) con voladizo y lamas, respectivamente.

Hay que tener en cuenta que la dimensión utilizada en las simulaciones de protección vertical es de 40cm, mientras que para protecciones horizontales tenemos 65cm. Aun así, la disminución de radiación dista mucho de la obtenida con el elemento vertical.

Tenemos que el ángulo para calcular la dimensión de los elementos horizontales es de **57°**, obteniendo, como ya se ha dicho, **65cm** de longitud para el hueco de 1m x 1m.

Orientación Sur

En este caso seguimos teniendo **las protecciones horizontales destacando frente a las verticales**, siendo la orientación donde más efectividad presentan con un 70 y 68% de reducción de la radiación con voladizo (817 Wh/m²) y lamas a 45° (795 Wh/m²), respectivamente. En el caso de protecciones verticales, con protección a la derecha obtenemos una reducción de 169 Wh/m² (14%), mientras que con protección a la izquierda, 120 Wh/m² (10%).

En cuanto a las dimensiones utilizadas, para elementos horizontales será suficiente con **30cm** para el hueco tipo, utilizando un ángulo de **73,4°** para extrapolarlo a cualquier otra dimensión. En el caso de elementos verticales, necesitaríamos una longitud de 68cm.

Orientación Suroeste

Observamos que en esta orientación, tenemos la protección vertical más efectiva de entre todas las orientaciones, situada a la izquierda del hueco, con una reducción de 462 Wh/m² de radiación (26%), aunque la dimensión es de 99cm. La situada a la derecha no es nada eficiente, ya que apenas reduce un 3% la radiación (54 Wh/m²).

La protección vertical tiene otro punto en contra cuando observamos lo que ocurre en los meses de invierno, ya que es el elemento que más radiación favorable evita.

La protección horizontal sigue destacando por ser la más eficiente en este caso. Con una dimensión de **65cm** evita 1185 Wh/m² (67%) y 1136 Wh/m² (64%). El ángulo para calcular la longitud equivalente para otra dimensión de hueco es de **56,9°**.

Orientación Oeste

De nuevo vemos como **la protección horizontal se impone a la vertical**, ya que con **71cm** reduce más radiación que el elemento vertical, con 90cm. Un total de 1076 Wh/m² (55%) en el caso de voladizo, y 1038 Wh/m² (53%) con lamas a 45°, frente a una reducción de 232 Wh/m² (12%) en el caso de elementos verticales.

Para obtener la longitud equivalente de protecciones horizontales para cualquier otro hueco con otras dimensiones, se emplearía el ángulo de **54,7°**, como en orientación Este.

Los resultados obtenidos tras las simulaciones muestran que las protecciones horizontales han sido mucho más eficientes para la totalidad de las orientaciones estudiadas. Como ya estaba previsto, el modelo con voladizo aparece con una efectividad poco superior al modelo con lamas a 45° respecto a la disminución de la radiación.

Aun así, el modelo de lamas puede contrarrestar esta pequeña diferencia de protección con otros factores que resultan a su favor, como es la **necesidad de menor volumen de material** para fabricar este sistema, la posibilidad de tener **enfriamiento por corriente de aire** entre las lamas, **menor acumulación de calor**, etc.

Una vez valorados los resultados obtenidos de las simulaciones, podemos concluir que la protección más eficiente como prototipo teórico es un **sistema de PÉRGOLA CON LAMAS A 45°**.

PARÁMETRO 2: DIMENSIÓN DEL ELEMENTO

Para obtener una dimensión que de respuesta a las necesidades de protección en cada orientación realizaremos una media ponderada, teniendo en cuenta la dimensión efectiva y la radiación que recibe el modelo con dicha protección.

La forma de actuar será la siguiente: cada longitud se multiplicará por la radiación percibida (a modo de factor de ponderación), de esta forma obtendremos un valor ponderado dando más importancia a los elementos que siguen percibiendo mayor radiación directa para que el elemento tienda a ser más parecido a este.

Los siguientes pasos resultan como en la realización de calcular una media ponderada común, sumamos todos los valores ponderados y se dividen entre la suma de factores de ponderación.

	DIMENSIÓN (cm)	% SOMBRA	RAD. MEDIA VERANO (Wh/m2)	VALOR PONDERADO
E	71	75,66	1247	88537
SE	65	72,66	934	60710
S	30	70,33	378	11340
SO	65	79,33	640	41600
O	71	79,33	903	64113
			4102	266300
			DIMENSIÓN MEDIA PONDERADA (cm)	64,9

Fig. 127- Tabla de cálculo para obtener la dimensión que mejor se adapte a todas las orientaciones.
Fuente: Elaboración propia.

Obtenemos finalmente una **dimensión de 64,9cm para el prototipo teórico**, siendo esta longitud la que mejor se comportaría en las cinco orientaciones más desfavorables en latitudes intermedias.

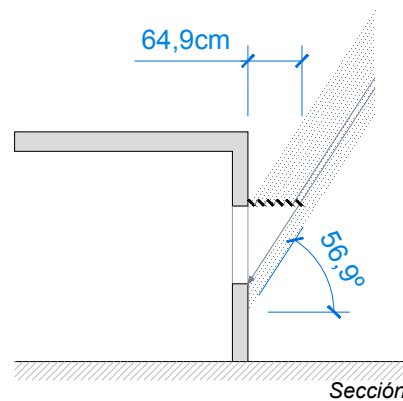


Fig. 128- Sección transversal del prototipo teórico. Fuente: elaboración propia.

Obtenemos finalmente una **dimensión de 64,9cm para el prototipo teórico**, siendo esta longitud la que mejor se comportaría en las cinco orientaciones más desfavorables en latitudes intermedias.

PARÁMETRO 3: MATERIAL DEL ELEMENTO

En el capítulo anterior se ha realizado un análisis de hasta nueve materiales diferentes con los que se fabricaría teóricamente este prototipo, y tras realizar una serie de valoraciones en las que clasificamos los materiales de mejor a peor, dependiendo del factor estudiado, obtenemos un ranking final del que obtenemos el material más eficiente: **el acero inoxidable**.

De esta forma, ya tenemos los tres parámetros que componen el prototipo teórico para el hueco tipo de 1m x 1m del caso de estudio: **SISTEMA DE PROTECCIÓN HORIZONTAL FORMADO POR LAMAS A 45°, DE 64,9cm DE VUELO, DE ACERO INOXIDABLE**.

9. CORRECCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO PARA EL ESCENARIO DE 2050

Tras comprobar que el modelo de lamas a 45° resulta el más eficiente en fachadas con cualquiera de las cinco orientaciones estudiadas, vamos a analizar su eficiencia con las condiciones que el IPCC prevé para el horizonte 2050.

Para ello, cruzaremos los datos de radiación solar que percibe el hueco con dicha protección con las temperaturas exteriores previstas, y comprobamos si es suficiente, o no, la protección actual para cada orientación por medio de una tabla que relaciona ambos datos. Esta tabla clasificará las temperaturas y radiaciones en cuatro escalones en función de sus valores: Temperaturas bajas (inferiores a 15°C), medias (entre 15 y 26°C), altas (entre 26 y 32°C) y muy altas (más de 32°C); Radiación baja (de 0 a 100 Wh/m²), media (de 100 a 200 Wh/m²), alta (de 200 a 300 Wh/m²) y muy alta (superiores a 300 Wh/m²).

		TEMPERATURA			
		BAJA (<15°C)	MEDIA (15 26°C)	ALTA (26-32°C)	MUY ALTA (> 32°C)
RADIACIÓN	BAJA (0-100 Wh/m ²)	✓	✓	✓	Aceptable
	MEDIA (100-200 Wh/m ²)	✓	✓	Aceptable	✗
	ALTA (200-300 Wh/m ²)	✓	Aceptable	✗	✗
	MUY ALTA (> 300 Wh/m ²)	Aceptable	✗	✗	✗

Fig. 129- Tabla para comprobar la eficiencia de la protección empleada, en función de la temperatura exterior y la radiación percibida. Fuente: elaboración propia.

Las normales de temperaturas en las horas de estudio (de 11:00 a 18:00) se obtienen utilizando los datos del escenario climático HadCM3 A3, realizado por el IPCC, para crear el archivo climático 2050 mediante el software “CCWorldWeatherGen” desarrollado por la Universidad de Southarnpton, del Reino Unido. Una vez creado el archivo climático, en formato .epw, se importa a Ecotect para realizar las simulaciones y obtener las temperaturas.

TEMPERATURA 2050 (°C)												
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
18:00	16,3	17,8	20,9	22,3	27,8	33,0	37,7	36,5	33,1	25,7	18,1	16,0
17:00	16,8	19,0	22,3	23,6	28,9	34,8	40,2	38,3	34,4	27,2	19,4	17,1
16:00	17,3	19,8	23,0	24,1	29,3	35,6	40,9	38,8	35,0	28,0	21,1	18,4
15:00	17,5	19,4	23,2	25,8	29,7	35,7	40,2	39,1	35,7	28,5	22,6	19,2
14:00	16,6	19,2	23,0	24,3	28,9	35,4	39,8	38,1	34,6	27,6	21,1	17,9
13:00	15,6	18,2	22,6	23,7	28,2	34,6	38,9	36,9	33,9	27,0	20,9	17,1
12:00	14,5	16,5	20,8	22,5	26,5	32,2	37,0	35,2	32,2	26,6	19,5	15,7
11:00	12,7	15,4	19,9	22,3	26,4	31,8	35,7	34,3	31,4	25,0	18,4	14,5

Temperaturas superiores a 26°C
 Temperaturas superiores a 32°C
 Límite de horas en las que actualmente se superan los 26°C

FIG. 230- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

De esta simulación obtenemos que el aumento de temperaturas más importante se concentrará en los meses de verano, no obstante, hay que destacar que en los meses de Mayo y Octubre se alcanzarán temperaturas propias del verano actual, superando los 28°C. Por lo tanto, las comprobaciones de la efectividad del elemento de protección solar lo realizaremos de Mayo a Octubre, entre las 11:00 y las 18:00.

Una vez comprobada la eficacia de la protección, en los casos necesarios, se indicará en la carta solar estereográfica la zona que debe ser protegida, ya sea aumentando las dimensión del elemento, sustituyéndolo o incorporándole otro sistema de protección.

ORIENTACIÓN ESTE

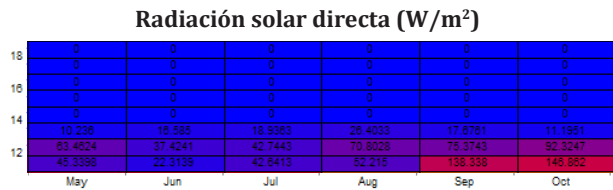


FIG. 131- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

		TEMPERATURA			
		BAJA (<15°C)	MEDIA (15 26°C)	ALTA (26-32°C)	MUY ALTA (> 32°C)
RADIACIÓN	BAJA (0-100 Wh/m ²)	✓	✓	✓	Aceptable
	MEDIA (100-200 Wh/m ²)	✓	✓	Aceptable	✗
	ALTA (200-300 Wh/m ²)	✓	Aceptable	✗	✗
	MUY ALTA (> 300 Wh/m ²)	Aceptable	✗	✗	✗

Fig. 133- Tabla para comprobar la eficiencia de la protección empleada, en función de la temperatura exterior y la radiación percibida. Fuente: elaboración propia.

Temperatura exterior previstas para 2050 (°C)

	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
18:00	27,8	33,0	37,7	36,5	33,1	25,7
17:00	28,9	34,8	40,2	38,3	34,4	27,2
16:00	29,3	35,6	40,9	38,8	35,0	28,0
15:00	29,7	35,7	40,2	39,1	35,7	28,5
14:00	28,9	35,4	39,8	38,1	34,6	27,6
13:00	28,2	34,6	38,9	36,9	33,9	27,0
12:00	26,5	32,2	37,0	35,2	32,2	26,6
11:00	26,4	31,8	35,7	34,3	31,4	25,0

Temperaturas superiores a 26°C

Temperaturas superiores a 32°C

Límite de horas en las que actualmente se superan los 26°C

FIG. 132- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

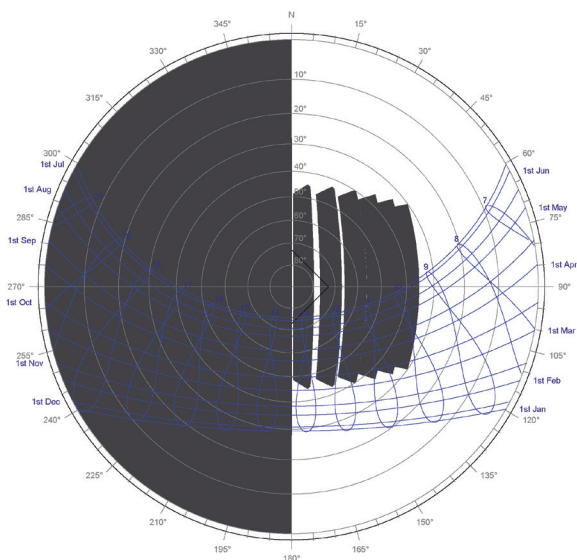


Fig. 134- Carta solar con máscara de sombra del modelo con protección mediante lamas a 45°. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Tras realizar las simulaciones con el elemento pergolado de lamas a 45°, en fachada con orientación Este, obtuvimos unos resultados de radiación solar muy favorables, permaneciendo prácticamente los seis meses críticos en valores de radiación Baja (0-100 Wh/m²), excepto los meses de Septiembre y Octubre, de 11:00 a 12:00h, con unos 150 Wh/m² (radiación media).

En todo caso, el cruce de valores nos advierte de que la protección es correcta, ya que la temperatura que tendríamos en esos momento es alta en septiembre, y media en octubre. Por lo tanto, los 71cm de lamas a 45° serán adecuados también para el año 2050.

ORIENTACIÓN SURESTE

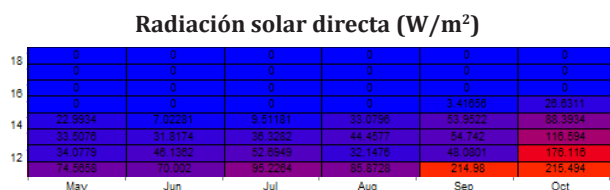


FIG. 135- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

		TEMPERATURA			
		BAJA (<15°C)	MEDIA (15 26°C)	ALTA (26-32°C)	MUY ALTA (> 32°C)
RADIACIÓN	BAJA (0-100 Wh/m ²)	✓	✓	✓	Aceptable
	MEDIA (100-200 Wh/m ²)	✓	✓	Aceptable	✗
	ALTA (200-300 Wh/m ²)	✓	Aceptable	✗	✗
	MUY ALTA (> 300 Wh/m ²)	Aceptable	✗	✗	✗

Fig. 137- Tabla para comprobar la eficiencia de la protección empleada, en función de la temperatura exterior y la radiación percibida. Fuente: elaboración propia.

Temperatura exterior previstas para 2050 (°C)

	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
18:00	27,8	33,0	37,7	36,5	33,1	25,7
17:00	28,9	34,8	40,2	38,3	34,4	27,2
16:00	29,3	35,6	40,9	38,8	35,0	28,0
15:00	29,7	35,7	40,2	39,1	35,7	28,5
14:00	28,9	35,4	39,8	38,1	34,6	27,6
13:00	28,2	34,6	38,9	36,9	33,9	27,0
12:00	26,5	32,2	37,0	35,2	32,2	26,6
11:00	26,4	31,8	35,7	34,3	31,4	25,0

Temperaturas superiores a 26°C
Temperaturas superiores a 32°C
Límite de horas en las que actualmente se superan los 26°C

FIG. 136- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

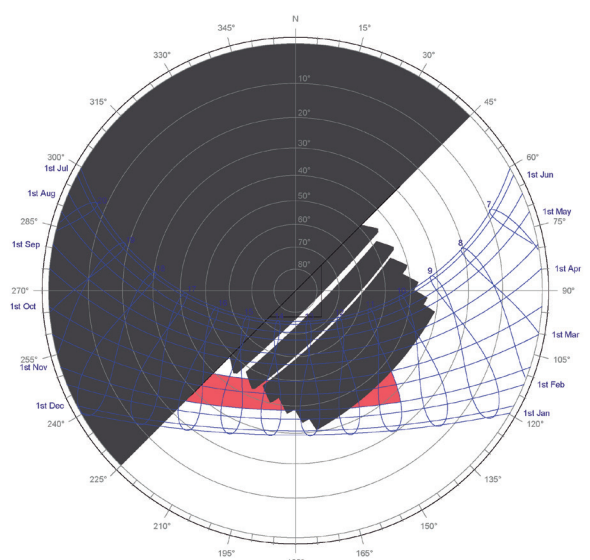


Fig. 138- Carta solar con máscara de sombra del modelo con protección mediante lamas a 45°. Con sombreado rojo se muestra la zona que debe quedar protegida en 2050, según las simulaciones con previsiones del IPCC. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

En este caso, los meses de Septiembre y Octubre se presentan con valores de radiación medios y altos. En el caso de Septiembre, es solo de 11:00 a 12:00, con 214 Wh/m² (radiación alta) y 31,4°C (temperatura alta), cuando será necesario mayor protección para 2050.

En Octubre, de 12:00 a 14:00 nos arroja valores de radiación media (100-200 Wh/m²) y, al tener temperaturas previstas altas (superiores a 32°C), será necesario aumentar la protección.

La solución no pasaría por aumentar la longitud del vuelo horizontal, sino que bastaría con alargar la protección hacia la izquierda unos 50cm, para así cubrir la zona que se indica en la carta solar en tono rojo, equivalente al periodo con falta de protección para el horizonte 2050.

Otra opción, menos eficiente, sería incorporarle una protección vertical a la izquierda, convirtiéndose en un sistema mixto. Pero esta solución presentaría déficit en cuanto a iluminación natural debido al exceso de sombreado.

ORIENTACIÓN SUR

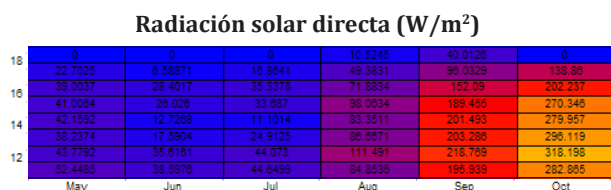


FIG. 139- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

		TEMPERATURA			
		BAJA (<15°C)	MEDIA (15 26°C)	ALTA (26-32°C)	MUY ALTA (> 32°C)
RADIACIÓN	BAJA (0-100 Wh/m ²)	✓	✓	✓	Aceptable
	MEDIA (100-200 Wh/m ²)	✓	✓	Aceptable	✗
	ALTA (200-300 Wh/m ²)	✓	Aceptable	✗	✗
	MUY ALTA (> 300 Wh/m ²)	Aceptable	✗	✗	✗

Fig. 141- Tabla para comprobar la eficiencia de la protección empleada, en función de la temperatura exterior y la radiación percibida. Fuente: elaboración propia.

Temperatura exterior previstas para 2050 (°C)

	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
18:00	27,8	33,0	37,7	36,5	33,1	25,7
17:00	28,9	34,8	40,2	38,3	34,4	27,2
16:00	29,3	35,6	40,9	38,8	35,0	28,0
15:00	29,7	35,7	40,2	39,1	35,7	28,5
14:00	28,9	35,4	39,8	38,1	34,6	27,6
13:00	28,2	34,6	38,9	36,9	33,9	27,0
12:00	26,5	32,2	37,0	35,2	32,2	26,6
11:00	26,4	31,8	35,7	34,3	31,4	25,0

Temperaturas superiores a 26°C

Temperaturas superiores a 32°C

Límite de horas en las que actualmente se superan los 26°C

FIG. 140- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

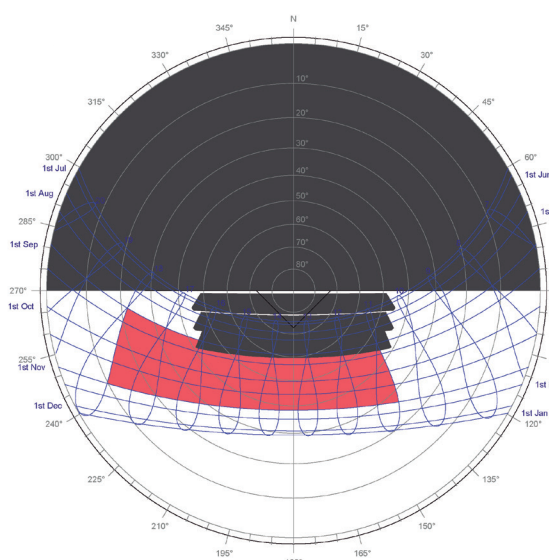


Fig. 142- Carta solar con máscara de sombra del modelo con protección mediante lamas a 45°. Con sombreado rojo se muestra la zona que debe quedar protegida en 2050, según las simulaciones con previsiones del IPCC. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

Según las previsiones, en 2050 nos encontraremos con temperaturas muy altas (superiores a 32°C) durante los meses de verano y Septiembre. No obstante, para la orientación Sur tendremos valores bajos de incidencia solar (0-100 Wh/m²) desde mayo hasta Agosto, por lo que la protección resulta adecuada para estos meses.

Sin embargo, para los meses de Septiembre y Octubre vemos valores de radiación media y alta, respectivamente, y unas temperaturas altas (26-32°C) e incluso muy altas (superiores a 32°C) en Septiembre, por lo que se hace necesario revisar la protección para que sean efectivas en estos dos meses.

En la carta solar se muestra, sombreado de rojo, la zona que sería necesario sombrear para cubrir las necesidades de 2050. **La solución, en este caso, estaría en aumentar la longitud, llegando mínimo a 60cm (el doble de la actual), e incluso alargar la anchura 40cm hacia la izquierda** para poder cubrir hasta las 18:00h, ya que con la anchura de la ventana tipo (1m) protege tan solo hasta las 16:00h en estos meses.

Incorporar un sistema vertical de protección no sería eficiente para esta orientación ya que, como comprobamos anteriormente, tan solo evitaría radiación en las horas finales del día, cuando menos incidencia solar tenemos.

ORIENTACIÓN SUROESTE

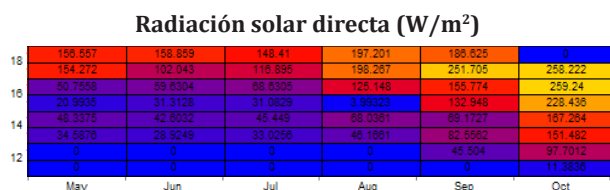


FIG. 143- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

		TEMPERATURA			
		BAJA (<15°C)	MEDIA (15-26°C)	ALTA (26-32°C)	MUY ALTA (>32°C)
RADIACIÓN	BAJA (0-100 Wh/m ²)	✓	✓	✓	Aceptable
	MEDIA (100-200 Wh/m ²)	✓	✓	Aceptable	✗
	ALTA (200-300 Wh/m ²)	✓	Aceptable	✗	✗
	MUY ALTA (>300 Wh/m ²)	Aceptable	✗	✗	✗

Fig. 145- Tabla para comprobar la eficiencia de la protección empleada, en función de la temperatura exterior y la radiación percibida. Fuente: elaboración propia.

Temperatura exterior previstas para 2050 (°C)

	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
18:00	27,8	33,0	37,7	36,5	33,1	25,7
17:00	28,9	34,8	40,2	38,3	34,4	27,2
16:00	29,3	35,6	40,9	38,8	35,0	28,0
15:00	29,7	35,7	40,2	39,1	35,7	28,5
14:00	28,9	35,4	39,8	38,1	34,6	27,6
13:00	28,2	34,6	38,9	36,9	33,9	27,0
12:00	26,5	32,2	37,0	35,2	32,2	26,6
11:00	26,4	31,8	35,7	34,3	31,4	25,0

Temperaturas superiores a 26°C

Temperaturas superiores a 32°C

Límite de horas en las que actualmente se superan los 26°C

FIG. 144- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

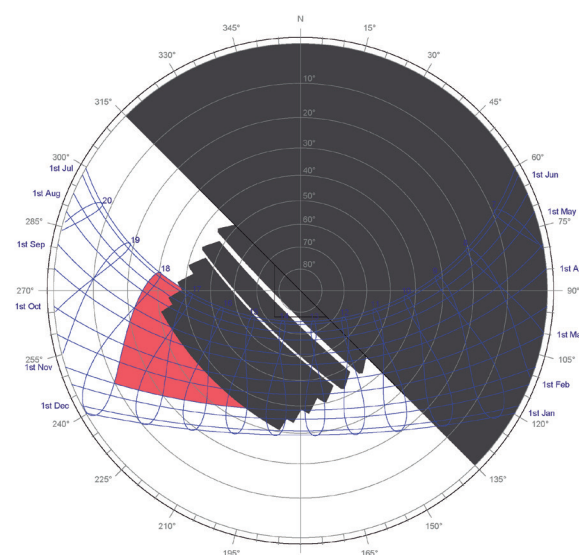


Fig. 146- Carta solar con máscara de sombra del modelo con protección mediante lamas a 45°. Con sombreado rojo se muestra la zona que debe quedar protegida en 2050, según las simulaciones con previsiones del IPCC. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

En esta orientación nos encontramos con la incidencia solar más importante, con valores medios de radiación en las horas finales (del tramo estudiado) de Mayo a Agosto. En Mayo, al tener temperaturas altas (entre 26 y 32°C), será suficiente con la protección actual, pero de Junio a Agosto tendremos temperaturas muy altas (superiores a 32°C), por lo que será necesario aumentar la protección para cubrir estas horas en las que actualmente no hay sombreadamiento.

En Septiembre se superan los 100 Wh/m² (radiación media) a partir de las 15:00h, por lo que tendríamos que proteger la fachada a partir de este momento, ya que tendremos temperaturas superiores a 32°C.

En Octubre también será necesario sombrear el hueco a partir de la misma hora porque, aunque no se llega a los 32°C en ningún momento (tenemos temperaturas altas), contamos con radiaciones altas (200 - 300 Wh/m²)

La solución pasaría por aumentar la longitud del vuelo horizontal de la pérgola en unos 30cm, pasando de 65 a 95cm de vuelo y protegiendo la zona seleccionada en rojo en la carta solar.

ORIENTACIÓN OESTE

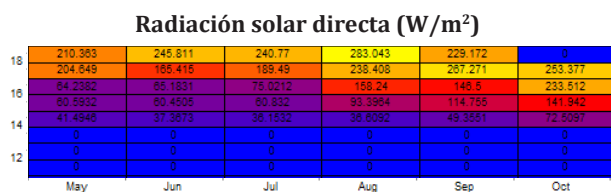


FIG. 147- Valores normales de radiación solar directa (Wh/m²) que incide sobre la ventana tipo en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

		TEMPERATURA			
		BAJA (<15°C)	MEDIA (15 26°C)	ALTA (26-32°C)	MUY ALTA (> 32°C)
RADIACIÓN	BAJA (0-100 Wh/m ²)	✓	✓	✓	Acceptable
	MEDIA (100-200 Wh/m ²)	✓	✓	Acceptable	✗
	ALTA (200-300 Wh/m ²)	✓	Acceptable	✗	✗
	MUY ALTA (> 300 Wh/m ²)	Acceptable	✗	✗	✗

Fig. 149- Tabla para comprobar la eficiencia de la protección empleada, en función de la temperatura exterior y la radiación percibida. Fuente: elaboración propia.

Temperatura exterior previstas para 2050 (°C)

	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
18:00	27,8	33,0	37,7	36,5	33,1	25,7
17:00	28,9	34,8	40,2	38,3	34,4	27,2
16:00	29,3	35,6	40,9	38,8	35,0	28,0
15:00	29,7	35,7	40,2	39,1	35,7	28,5
14:00	28,9	35,4	39,8	38,1	34,6	27,6
13:00	28,2	34,6	38,9	36,9	33,9	27,0
12:00	26,5	32,2	37,0	35,2	32,2	26,6
11:00	26,4	31,8	35,7	34,3	31,4	25,0

Temperaturas superiores a 26°C

Temperaturas superiores a 32°C

— Límite de horas en las que actualmente se superan los 26°C

FIG. 148- Normales climatológicas de la temperatura del aire (°C) en Sevilla/Aeropuerto de Sevilla en el tramo horario comprendido entre las 11:00 y las 18:00 horas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos climáticos del DOE de EEUU y el software Ecotect Analysis.

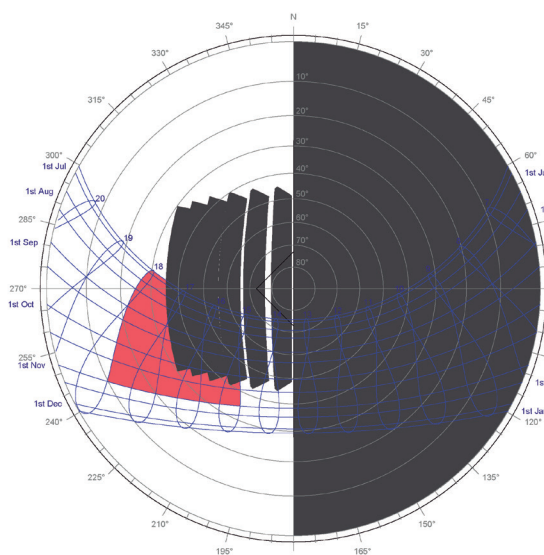


Fig. 150- Carta solar con máscara de sombra del modelo con protección mediante lamas a 45°. Con sombreado rojo se muestra la zona que debe quedar protegida en 2050, según las simulaciones con previsiones del IPCC. Fuente: elaboración propia mediante simulaciones con software Ecotect Analysis.

En fachadas al Oeste, el modelo percibe radiaciones altas (200-300 Wh/m²) en las últimas dos horas de estudio para los seis meses, y medias (100-200 Wh/m²) de Agosto a Octubre, de 15:00 a 17:00h.

En mayo y Octubre tendremos temperaturas altas (de 26 a 32°C), mientras que de Junio a Septiembre observamos temperaturas muy altas (superiores a 32°C), excepto de 11:00 a 12:00h en Junio y Septiembre, que serán altas.

Con estos valores tenemos que será necesario sombrear de Mayo a Julio a partir de las 17:00h, en Agosto a partir de las 16:00h, en Septiembre de 15:00h en adelante, y en Octubre de 16:00 a 18:00h.

En esta situación la solución también sería aumentar tanto la longitud como la anchura del vuelo. **Sería necesario aumentar hasta una longitud de 90cm, lo que supone 19cm más que el modelo actual, y alargarlo 10cm hacia la derecha.** De este modo cubrimos la futura necesidad de sombrear los periodos indicados también en la carta solar.

9.1. PARÁMETROS DEL PROTOTIPO TEÓRICO PREVISTO PARA 2050

Tas realizar las pertinentes correcciones por orientación, hemos obtenido las siguientes dimensiones de los elementos de protección horizontal, lamas a 45°, optimizados para el horizonte 2050:

- Fachadas orientadas al Este: vuelo de 71cm, sin aumento de la anchura.
- Fachadas orientadas al Sureste: vuelo de 65cm y un aumento de la anchura de 50cm hacia la izquierda.
- Fachadas orientadas al Sur: vuelo de 60cm y un aumento de la anchura de 40cm hacia la izquierda.
- Fachadas orientadas al Suroeste: vuelo de 95cm, sin aumento de la anchura.
- Fachadas orientadas al Oeste: vuelo de 90cm y un aumento de la anchura de 10cm hacia la derecha.

Por último, realizaremos los cálculos para obtener la dimensión del prototipo teórico para las futuras condiciones que se nos presentan. Este cálculo consistirá en modificar la dimensión del prototipo obtenido para la actualidad, aumentando el vuelo del elemento en un valor medio entre los aumentos previstos para cada orientación. En cuanto a la anchura, se tomará el máximo aumento necesario, para cada lado, de entre las cinco orientaciones.

	VUELO ACTUAL (cm)	DIMENSIONES CORREGIDAS PARA EL ESCENARIO 2050			
		AUMENTO DE DIMENSIONES			
		VUELO (cm)	ANCHURA HACIA LA IZQUIERDA (cm)	ANCHURA HACIA LA DERECHA (cm)	
E	71	-	-	-	71
SE	65	-	50	-	65
S	30	30	40	-	60
SO	65	30	-	-	95
O	71	19	-	10	90
PROTOTIPO	64,9	26	50	10	90,9
					160

Fig. 151- Tabla de corrección de las dimensiones del prototipo para adaptarlo a las condiciones del escenario 2050. Fuente: elaboración propia.

De esta forma, concluimos con un prototipo teórico optimizado para ser utilizado en las orientaciones más adversas en latitudes intermedias, en un horizonte que se prevé desfavorable térmicamente. Los parámetros de tipología y materialidad no varían respecto a los actuales, por lo que el prototipo teórico para el año 2050 será el siguiente: **SISTEMA DE PROTECCIÓN HORIZONTAL FORMADO POR LAMAS A 45°, DE 90,9cm DE VUELO Y 160cm DE ANCHO (50cm HACIA LA IZQUIERDA Y 10cm HACIA LA DERECHA), DE ACERO INOXIDABLE.**

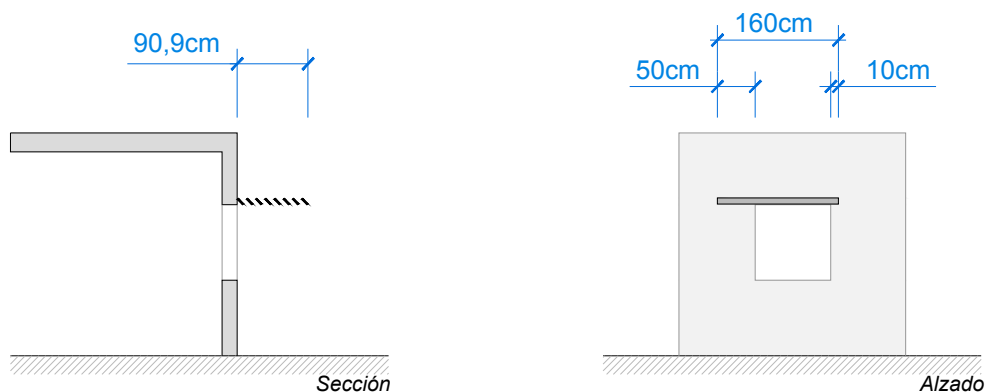


Fig. 152- Sección transversal y alzado del prototipo teórico, adaptado para las condiciones previstas por el IPCC para el año 2050. Fuente: elaboración propia.

10. CONCLUSIONES

10.1. CONCLUSIONES GENERALES

El presente Trabajo Fin de Grado se planteó inicialmente con la intención de proponer un modelo teórico para la comparativa de las diferentes necesidades de sombreado de los huecos de fachada en función de las variables de radiación solar directa y de temperatura del aire. Dicho modelo sería, además, el encargado de establecer la posibilidad efectiva de un prototipo estandarizado de elemento sombreador. El modelo, tal como se plantea, es capaz de asumir cambios en cualquiera de los parámetros de entrada, ya sean éstos la orientación, las dimensiones del hueco o las modificaciones térmicas y de radiación previstas en los distintos escenarios que se enmarcan en la actual dinámica de Cambio Climático.

Con este estudio se hace evidente la importancia que tiene el control y la protección solar en la arquitectura, quedando patente también que dicha importancia va a ir en incremento con el paso de los años debido a los efectos, en la modificación de parámetros térmicos, que el Cambio Climático implica. El control solar es, por tanto, una herramienta fundamental en el concepto de diseño pasivo y sostenibilidad, siendo responsable de un gran aporte de calidad ambiental y confort interiores sin necesidad de consumir energía.

Esta investigación pone de manifiesto la influencia que llega a tener un arquitecto sobre el medio ambiente, teniendo una responsabilidad, que va más allá del funcionamiento y estabilidad del edificio, ya que somos nosotros los que estudiamos y decidimos entre sistemas y materiales más o menos perjudiciales para el medio ambiente a la hora de realizar un proyecto. Está en nuestra mano poder reducir emisiones innecesarias, simplemente implementando sistemas pasivos a nuestros edificios. El control solar es uno de ellos, pero son muchos los posibles sistemas que ayudan a reducir la contaminación ambiental y, por tanto, poder dejar un futuro mejor del esperado.

Por otra parte, considerando la acentuación creciente de las temperaturas en los meses más cálidos del año en relación a la vida útil prevista de los edificios, el diseño de estos sistemas se debe adelantar a los escenarios climáticos previstos incorporando soluciones de menor obsolescencia. Lo cual supondría, a efectos prácticos, añadir, a los estudios de soleamiento habituales, una previsión de la demanda futura en términos de protección de los efectos combinados de la radiación y el incremento de la temperatura exterior.

Asimismo, es importante considerar la contribución potencial, en términos de impacto ambiental, que la propia materialidad arquitectónica supone. Por ello se deben seleccionar materiales, productos y sistemas con menos energía incorporada y cuya utilización implique menor volumen de emisiones. Teniéndose en cuenta, del mismo modo, aquellos que supongan un consumo más reducido en volumen de recursos ya sea directamente por su durabilidad y reciclabilidad o indirectamente por su repercusión sobre la estructura y los materiales de aislamiento del edificio.

En función de lo anterior y como resultado de los datos obtenidos en el presente Trabajo de Fin de Grado se pueden establecer las siguientes Conclusiones Generales:

- Tras el estudio realizado, se puede concluir que, para el módulo de hueco dado, es posible establecer un prototipo de sistema de protección solar que funcione eficazmente en las cinco orientaciones más desfavorables en latitudes intermedias. Exactamente se trata de un sistema de vuelo horizontal formado por lamas a 45° con una dimensión de 64,9 cm; siendo, el acero inoxidable el material que mejor se adapte al conjunto de parámetros medioambientales y de durabilidad.

- Tras el estudio realizado, se puede concluir que, para el módulo de hueco dado, es posible establecer un prototipo de sistema de protección solar que funcione eficazmente en las cinco orientaciones más desfavorables en latitudes intermedias. Exactamente se trata de un sistema de vuelo horizontal formado por lamas a 45° con una dimensión de 64,9 cm; siendo, el acero inoxidable el material que mejor se adapte al conjunto de parámetros medioambientales y de durabilidad.
- Está previsto que las temperaturas, a 30 años vista, sufran en nuestra latitud un aumento significativo, concentrado en el verano y en los meses próximos a esta estación, los cuales pasarán a tener las temperaturas propias de los veranos actuales. Por ello, las protecciones eficientes en la actualidad no cubrirán las necesidades que presentará el horizonte 2050, para prácticamente todas las orientaciones sería necesario aumentar las dimensiones de los elementos para ser eficientes, a excepción del caso de fachadas orientadas al Este, en la que si seguirá siendo válida.
- El prototipo teórico, respecto al módulo de hueco propuesto y optimizado para el año 2050, necesitará aumentar sus dimensiones tanto de vuelo como de anchura para ser efectivo. En latitudes intermedias, tendremos el siguiente elemento que protege eficientemente fachadas con las orientaciones más adversas térmicamente hablando: sistema de protección horizontal formado por lamas a 45°, de 90,9cm de vuelo y 160cm de ancho (50cm hacia la izquierda y 10cm hacia la derecha), de acero inoxidable.

10.2. CONCLUSIONES PARTICULARES

Respecto a las Conclusiones Específicas se puede afirmar que:

- El sistema más eficiente para las cinco orientaciones estudiadas (de Este a Oeste) es la protección horizontal formada por lamas a 45°, con mucha diferencia sobre las protecciones verticales. El voladizo evita tan solo de un 1 a un 3% más radiación que el sistema de lamas, pero otros factores descritos anteriormente, se obtiene el mejor funcionamiento de este sistema.
- En general, se puede considerar que los elementos sombreadores de fachada se verán perjudicados por el Cambio Climático, siendo necesario prever cambios de estos sistemas para poder tener una eficiencia optima.
- Aunque implementar un sistema vertical podría ser una solución en alguna de las orientaciones, la más eficiente es aumentar la dimensión del vuelo, tanto la longitud, como la anchura, en algunas situaciones.
- El material más eficiente teniendo en cuenta ciclo de vida (en el que se incluye durabilidad, mantenimiento, volumen utilizado, energía incorporada, etc.), densidad y conductividad térmica, resulta ser el acero inoxidable, siendo la madera una alternativa adecuada al situarse en segundo término frente al acero.

10.3. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Para concluir, se pueden establecer una serie de líneas de investigación posibles para dar continuidad al presente estudio:

- Con objeto de obtener un perfil más completo del diseño teórico del elemento de sombreamiento habría que ampliar el escenario temporal desde la mitad hasta finales de siglo. El único inconveniente en este caso sería la divergencia creciente de los escenarios previstos, lo cual obligaría a hacer más de una propuesta.
- Por otra parte, debido a las restricciones temporales en las que se enmarca este trabajo, el módulo de hueco se ha circunscrito a un único ejemplo. Sería aconsejable hacer estudios de diversas tipologías de hueco, al menos las más comunes, con objeto de establecer un catálogo de soluciones en función de las distintas dimensiones contempladas.

Ambas líneas de investigación serían posibles mediante una modificación de los parámetros de entrada en base al modelo de cálculo propuesto en este Trabajo Fin de Grado, así como la aplicación a un caso específico de estudio con una orientación y tamaño de huecos preciso.

11. BIBLIOGRAFÍA

Pérez López, R. (2017). Optimización energética mediante estrategias pasivas en viviendas unifamiliares en el sur de España ante un escenario de cambio climático. (Trabajo Fin de Master, MIATD). Universidad de Sevilla, Sevilla.

Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2013). Quinto informe de evaluación.

Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2013). Cambio Climático: Implicaciones para los edificios.

Rubio-Bellido, C., Pulido-Arcas, J. A., & Ureta-Gragera, M. (2015). Aplicabilidad de estrategias genéricas de diseño pasivo en edificaciones bajo la influencia del cambio climático en Concepción y Santiago, Chile. Hábitat Sustentable, 5. Recuperado de: <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2106/1989>

Guerra Ramírez, J (2006). Una arquitectura para el desierto. Universidad Católica del Norte. AUS, Valdivia (pp.10-12)

Guimaraes Merçon, M. (2008). Confort térmico y tipología arquitectónica en clima Cálido-Húmedo. Análisis térmico de la cubierta ventilada. (Trabajo Fin de Master). Universidad Politècnica de Catalunya, Barcelona.

Farràs Pérez, L. (2012). Exteriores ecológicos : 50 soluciones para un hogar más sostenible. Barcelona : Promopres.

Mestre, I., Casado, M.J. y Rodríguez, E. Tendencias observadas y proyecciones de cambio climático sobre España. Agencia Estatal de Meteorología. Impactos y vulnerabilidad. (pp. 87-98).

De Castro, M., Martín-Vide, J. y Alonso, S. Impactos del cambio climático en España. El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI.

Martin, C., Campillo, G., Meirovich, H. Y Navarrete, J. (2013) . Banco Interamericano de Desarrollo. División de Cambio Climático y Sostenibilidad. Mitigación y adaptación al cambio climático a través de la vivienda pública. Marco teórico para el Diálogo Regional de Políticas sobre Cambio Climático del BID.

Givoni, B. (1994). Building design principles for hot humid regions. University of California, Los Angeles, USA.

Givoni, B. (1998). Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the indoor daytime temperatures. Part I: 1993 experimental periods. Department of Architecture, School of Arts and Architecture, UCLA, Los Angeles, CA, USA.

Ugarte, J. Guía de Arquitectura bioclimática. Construir en países cálidos. Instituto de arquitectura tropical.

Domínguez, L. A., Soria, F.J. (2004). Pautas de diseño para una arquitectura sostenible. Centre de Publicacions del Campus Nord.

Suárez, R. Y Fragoso, J. (2016). Estrategias pasivas de optimización energética de la vivienda social en clima mediterráneo.

- López de Asiain Alberich, M. (2003). Estrategias Bioclimáticas en la Arquitectura.
- Alonso Monterde, M. (2014). Guía de estrategias de diseño pasivo para la edificación. Comunidad Valenciana: Instituto Valenciano de la Edificación.
- Ortega Prieto, A. (2016). Sostenibilidad y evolución. Arquitectura contemporánea basada en estrategias bioclimáticas de la arquitectura popular. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, Madrid.
- Matic, D. (2010). Estrategias de diseño solar pasivo para ahorro energético en edificación. Propuestas para disminución de demanda calorífica y frigorífica en clima continental templado. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, Barcelona.
- Vidal, J., Vidal, O. (2011). La protección frente al sol en verano. Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consumo energético casi nulo. (pp. 109-118). Madrid: Gráficas Arias Montano, S.A.
- Da Casa Martín, F., Echeverría Valiente, E. E., Celis D'Amico, F. (2017). Zonificación climática para su aplicación al diseño bioclimático. Aplicación en Galicia (España). Informes de la Construcción: e218, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/id55319>
- Velasco Rincón, M. T.(2017). Normativa de eficiencia energética en España. Madrid.
- Naciones Unidas (1998). Protocolo De Kyoto De La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático. Kyoto.
- Naciones Unidas (2015). Acuerdo de París. París
- Garrido Roca, F. (2017). La luz filtrada. En las sombras de las celosías. Escuela Técnica Superior de Arquitectura Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de España. Atlas climático Ibérico. (1971-2000). Madrid: Closas-Orcoyen S. L.
- Morata Gasca, A. (2014). Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR4. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente Agencia Estatal de Meteorología.
- Jiménez Lupiáñez, R. (2015). Estudio sobre protecciones solares en envolvente. Incidencia lumínica y radiación en el interior de los edificios. Escuela Técnica Superior de Arquitectura Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Zambrano Prado, P. (2013). Control solar e iluminación natural en la Arquitectura. Dispositivos de control solar fijos en clima semicálido-subhúmedo. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, Barcelona.
- Rocha Tamayo, E. (2011). Construcciones sostenibles: materiales, certificaciones y LCA. Facultad de Arquitectura y Artes Universidad Piloto de Colombia, Bogotá.

TRABAJO FIN DE GRADO. CURSO ACADÉMICO 2017/2018
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA. UNIVERSIDAD DE SEVILLA

